



TUGAS AKHIR TF145565

RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN TEMPERATUR *TUBE* PADA *MINI PLANT HEAT EXCHANGER* TIPE *SHELL* DAN *TUBE*

**Deasy Rahmawaty
NRP 2413.031.027**

**Dosen Pembimbing
Ir. Harsono Hadi, M.Sc, Ph. D
NIP. 19600119 1986 111 001**

**PROGRAM STUDI D3 METROLOGI DAN INSTRUMENTASI
JURUSAN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2016**



FINAL PROJECT - TF 145565

DESIGN OF TUBE TEMPERATURE CONTROL SYSTEM ON MINI PLANT SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER

Deasy Rahmawaty
NRP. 2412 031 045

ADVISOR LECTURER

Ir. Harsono Hadi, M.Sc, Ph. D
NIP. 19600119 1986 111 001

***STUDY PROGRAM OF D3 METROLOGY AND INSTRUMENTATION
DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2016***

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN
TEMPERATUR *TUBE* PADA *MINI PLANT HEAT*
EXCHANGER TIPE *SHELL* DAN *TUBE***

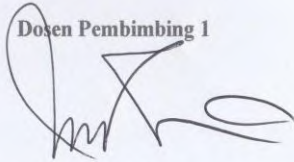
TUGAS AKHIR

Oleh :

**Deasy Rahmawaty
NRP. 2413 031 027**

**Surabaya, 27 Juli 2016
Mengetahui / Menyetujui**

Dosen Pembimbing 1




**Ir. Harsono Hadi, M.Sc, Ph. D
NIP. 19600119 1986 111 001**

**Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI-ITS**



**Agus Muhammad Hatta, ST, MSc, Ph.D
NIP. 19780902 200312 1 002**

**Ketua Program Studi
DIII Metrologi dan Instrumentasi**



**Dr. Ir. Purwadi Agus D, M.Sc.
NIP. 19620822 198803 1 001**

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN
TEMPERATUR TUBE PADA MINI PLANT HEAT
EXCHANGER TIPE SHELL DAN TUBE**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada
Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi
Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Deasy Rahmawaty
NRP. 2413 031 027

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Harsono Hadi, M.Sc, Ph.D..... (Pembimbing)
2. Ir. Tutug Dhanardono, MT..... (Ketua Penguji)
3. Nurlaila H., ST, M.Sc..... (Dosen Penguji I)
4. Herry Sufyan Hadi, ST, MT..... (Dosen Penguji II)

**SURABAYA
27 JULI 2016**

RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN TEMPERATUR *TUBE* PADA *MINI PLANT HEAT EXCHANGER* TIPE *SHELL* DAN *TUBE*

Nama : Deasy Rahmawaty
NRP : 2413031027
Jurusan : D3 Metrologi dan Instrumentasi
Dosen Pembimbing : Ir. Harsono Hadi, M.Sc, Ph. D

Abstrak

Dalam dunia industri fenomena perpindahan panas dimanfaatkan untuk keperluan proses dengan menggunakan suatu alat yang disebut penukar panas (*heat exchanger*). Salah satu tipe *heat exchanger* di industri adalah *shell and tube heat exchanger*. Perancangan sistem pengendalian temperatur *tube* pada *mini plant heat exchanger* tipe *shell* dan *tube* ini adalah sistem yang mengendalikan temperatur pada *output tube heat exchanger*, sensor yang digunakan untuk mengukur variabel temperatur adalah sensor *thermocouple* tipe K dengan rangkaian pengkondisian sinyal serta *amplifier* menggunakan ic AD595AQ dan ic LM358. Pengendalian temperatur dikontrol dengan mikrokontroler ATmega8535 untuk menghasilkan *output* dengan *set point* 45°C. Ketika *set point* tercapai maka *solenoid valve* yang ada pada *tube* akan terbuka. Dari data pengujian sensor didapatkan rata-rata koreksi $\pm -0,91615385$ °C dan error $\pm 0,0153$ °C. Berdasarkan pengujian alat pada sistem pengendalian temperatur *tube* didapatkan *respon time* yang baik untuk mencapai *steady state* dengan maksimum *overshoot* 1 °C dan nilai *error steady state* sebesar 0,1951 dengan *settling time* ± 116 menit dengan efisiensi perpindahan panasnya adalah 0,156 yang dapat dikatakan perpindahan panasnya baik karena nilai yang diperoleh < 1 .

Kata kunci : Sistem Pengendalian Temperatur, *Tube*, *Heat Exchanger*, Mikrokontroler ATmega8535, *Thermocouple* tipe K.

DESIGN OF TUBE TEMPERATURE CONTROL SYSTEM ON MINI PLANT SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER

Name : ***Deasy Rahmawaty***
NRP : ***2412 031 045***
Department : ***Diploma Program of Metrology and
Instrumentation, Engineering
Physics FTI-ITS***
Counselor Lecturer : ***Ir. Harsono Hadi, M.Sc, Ph. D***

Abstract

In industrial world, heat transfer phenomena utilized for the process by using a device called heat exchanger. One type of heat exchanger in the industry is shell and tube heat exchanger. The design of tube temperature control system on mini-plant heat exchanger shell and tube type is system that controls the temperature of tube output heat exchangers, sensors are used to measure the temperature variable is the sensor thermocouple type K with a series of signal conditioning and amplifier using ic AD595AQ and ic LM358, Temperature control is controlled by a microcontroller ATmega8535 to produce output with a set point 45°C. When the set point is reached, the solenoid valve that on the tube opens. Sensor test data obtained from the average correction ± -0.91615385 ° C and $\pm 0,0153$ °C error. Based on the test tool on the temperature control system of tube obtained a good response time to reach steady state with 1 °C maximum overshoot and error steady state value of 0.1951 with a settling time ± 116 minutes with heat transfer efficiency is 0.156 which can be said to be good because of heat transfer earned value <1.

Keywords : *Temperature Control System, Tube, Heat Exchanger, Microcontroller ATmega8535, Thermocouple K type.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN I	iii
LEMBAR PENGESAHAN II.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Tugas akhir	2
1.5 Manfaat	2
1.6 Sistematika Laporan.....	2

BAB II TEORI PENUNJANG

2.1 Sistem Pengendalian Proses.....	5
2.2 <i>Heat Exchanger</i>	10
2.3 Komponen–komponen <i>Shell and Tube Heat Exchanger</i>	13
2.4 <i>Thermocouple</i> Tipe K	16
2.5 <i>Solenoid Valve</i>	18
2.6 <i>Relay</i>	19
2.7 Mikrokontroler ATmega8535	21
2.8 LCD (<i>Liquid Cristal Display</i>)	23

BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1 Tahap-tahap Pengerjaan Tugas Akhir	27
3.2 Perancangan mekanik Alat	28
3.3 Perancangan Sistem Pengendalian Temperatur ..	29
3.4 Perancangan <i>Hardware</i>	30
3.5 Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	38

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

4.1 Analisa Data	39
4.2 Pengujian Sensor	39
4.3 Karakteristik Statik Sensor <i>Thermocouple</i> Baut Tipe K.....	44
4.4 Pengambilan Data Pada <i>Tube Output</i> di <i>Mini Plant</i> <i>Heat Exchanger</i>	48
4.5 Perhitungan Perpindahan Panas.....	49
4.6 Pembahasan	51

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran.....	54

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konfigurasi LCD 16 x 2	24
Tabel 3.1 Pin LCD 2x16	32
Tabel 4.1 Perhitungan Linearitas	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sistem Pengendalian Loop Terbuka	9
Gambar 2.2	Sistem Pengendalian Loop Tertutup.....	10
Gambar 2.3	<i>Heat Exchanger</i>	11
Gambar 2.4	Skema Distribusi Temperatur Pada Satu Dimensi.....	12
Gambar 2.5	(a) <i>Head</i> ; (b) Desain <i>Heat Exchanger Shell</i>	14
Gambar 2.6	<i>Shell</i>	14
Gambar 2.7	<i>Tube</i>	15
Gambar 2.8	<i>Nozzle</i>	16
Gambar 2.9	<i>Thermocouple</i> Tipe K.....	17
Gambar 2.10	(a) IC AD595AQ; (b) IC LM358.....	17
Gambar 2.11	<i>Solenoid Valve</i>	18
Gambar 2.12	Struktur <i>Solenoid Valve</i>	19
Gambar 2.13	<i>Relay</i>	20
Gambar 2.14	Mikrokontroler ATmega8535.....	22
Gambar 2.15	IC ATmega8535	23
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Pengerjaan Tugas Akhir.....	27
Gambar 3.2	Diagram Blok Pengendalian	29
Gambar 3.3	Modul <i>Power supply</i>	31
Gambar 3.4	Mikrokontroler ATmega8535.....	31
Gambar 3.5	Pemasangan Sensor <i>Thermocouple</i> pada <i>Mini Plant Heat Exchanger</i>	33
Gambar 3.6	IC AD595AQ.....	34
Gambar 3.7	IC LM358	35
Gambar 3.8	Modul <i>Relay</i>	36
Gambar 3.9	Pemasangan <i>Solenoid Valve</i> pada <i>Mini Plant Heat Exchanger</i>	37
Gambar 4.1	Grafik Pembacaan Temperatur (Naik) dan Pembacaan Standar.....	40
Gambar 4.2	Grafik Pembacaan Temperatur (Turun) dan Pembacaan Standar.....	41
Gambar 4.3	Grafik Histerisis.....	46

Gambar 4.4	Linearitas	47
Gambar 4.5	Grafik Respon Temperatur dan Waktu	49

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam kehidupan sehari-hari banyak terlihat fenomena perpindahan panas dari material atau fluida yang mempunyai temperatur lebih tinggi ke material atau fluida yang mempunyai temperatur lebih rendah. Dalam dunia industri fenomena perpindahan panas tersebut dimanfaatkan untuk keperluan proses dengan menggunakan suatu alat yang biasa disebut sebagai penukar panas atau *heat exchanger*. *Heat exchanger* merupakan alat yang digunakan sebagai media untuk memindahkan panas dari fluida yang bertemperatur lebih tinggi menuju fluida yang bertemperatur lebih rendah. Dalam aplikasinya alat ini digunakan untuk menaikkan maupun menurunkan temperatur, dan juga mengubah fase fluida. Salah satu tipe *heat exchanger* yang banyak digunakan di dunia industri adalah *shell and tube heat exchanger*. Alat ini terdiri dari sebuah *shell* silindris di bagian luar dan sejumlah *tube* di bagian dalam berbentuk pipa, di mana temperatur fluida di dalam *tube* berbeda dengan di luar *tube* (di dalam *shell*) sehingga terjadi perpindahan panas antara fluida di dalam *tube* dan di luar *tube*. Adapun daerah yang berhubungan dengan bagian dalam tube disebut *tube side* dan yang di luar disebut *shell side*.^[1]

Pada *plant heat exchanger* pengendalian suhu/ temperatur menjadi hal yang utama karena pertukaran panas berkaitan erat dengan suhu fluida yang digunakan sebagai media penukar panas. Berdasarkan hal tersebut, dalam tugas akhir ini akan dirancang sistem pengendalian suhu pada *tube mini plant heat exchanger* tipe *shell* dan *tube* berbasis mikrokontroler ATmega8535.

1.2 Permasalahan

Pada pelaksanaan tugas akhir ini, permasalahan yang diangkat yaitu bagaimana merancang dan membangun sistem pengendalian suhu pada *tube mini plant heat exchanger* tipe *shell* dan *tube* berbasis mikrokontroler ATmega8535.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari sistem yang dirancang agar pembahasan tidak meluas dan menyimpang dari tujuan yaitu:

- a. Alat yang dirancang pada tugas akhir hanya memiliki fungsi sebagai pengendalian suhu pada *tube mini plant heat exchanger*.
- b. Alat pengendalian ini menggunakan mikrokontroler ATmega8535 sebagai kontroler pada sistem pengendalian suhu pada *tube mini plant heat exchanger*.
- c. Alat pengendalian suhu pada *tube mini plant heat exchanger* ini menggunakan sensor *thermocouple* tipe K dengan penguat IC AD595AQ dan IC LM358.

1.4 Tujuan

Sesuai dengan rumusan masalah diatas, maka tujuan yang dicapai dari tugas akhir adalah :

- a. Merancang dan membangun sistem pengendalian temperatur *tube* pada *mini plant heat exchanger* tipe *shell* dan *tube* berbasis mikrokontroler ATmega8535.
- b. Mengetahui respon grafik dari sistem pengendalian temperatur *tube* pada *mini plant heat exchanger* tipe *shell* dan *tube*.
- c. Mengetahui nilai efisiensi perpindahan panas pada *mini plant heat exchanger* tipe *shell* dan *tube*.

1.5 Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini adalah sebagai sistem pengendalian suhu pada *tube mini plant heat exchanger* tipe *shell* dan *tube* berbasis mikrokontroler ATmega8535.

1.6 Sistematika Laporan

Sistematika laporan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang permasalahan, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika penulisan pada tugas akhir ini.

BAB II : TEORI PENUNJANG

Bab ini membahas mengenai teori-teori penunjang yang diperlukan dalam merealisasikan tugas akhir yaitu berupa teori tentang pengendalian, *heat exchanger* tipe *shell* dan *tube*, pengontrol mikro dan lain-lain.

BAB III : METODOLOGI PERCOBAAN

Pada bab ini diuraikan tentang perancangan sistem pengendalian suhu pada *tube mini plant heat exchanger* tipe *shell* dan *tube* berbasis mikrokontroler ATmega8535. Diagram blok, cara kerja alat, perangkat keras (ATmega8535 dan sensor *thermocouple* tipe K) serta perangkat lunak yang dilengkapi dengan diagram alir.

BAB IV : PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

Bab ini menguraikan hasil dan analisa dari realisasi alat yang telah dibuat.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi simpulan dari analisa yang telah dilakukan dan saran untuk pengembangan lebih lanjut.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Sistem Pengendalian Proses

Sistem pengendalian adalah susunan komponen-komponen fisik yang dirakit sedemikian rupa sehingga berfungsi untuk mengendalikan sistem itu sendiri atau sistem lain yang berhubungan dengan sebuah proses. Pengertian lain sistem pengendalian adalah suatu proses/pengendalian terhadap suatu atau beberapa besaran sehingga berada pada suatu harga atau range tertentu. Hampir semua proses dalam dunia industri membutuhkan peralatan-peralatan otomatis untuk mengendalikan parameter – parameter prosesnya. Otomatisasi tidak saja diperlukan demi kelancaran operasi, keamanan, ekonomi, maupun mutu produk, tetapi lebih merupakan kebutuhan pokok. Sistem otomasi berkaitan erat dengan sistem pengendalian yang biasa diterapkan pada dunia industri terkait dengan proses yang dijalankan.

Ada banyak parameter yang harus dikendalikan di dalam suatu proses, di antaranya : yang paling umum adalah tekanan (*pressure*) di dalam sebuah *vassel* atau pipa , aliran (*flow*) didalam pipa, suhu (*temperature*) di unit proses seperti heat exchanger, atau permukaan zat cair (*level*) disebuah tangki. Pada akhirnya pengendalian otomatis memegang peranan penting dan memberikan kemudahan dalam mendapatkan performansi dalam suatu sistem dinamik, mempertinggi kualitas, menurunkan biaya produksi dan mempertinggi laju produksi, serta meniadakan pekerjaan – pekerjaan rutin yang harus dilakukan manusia. Namun semua peran operator manual digantikan oleh sebuah alat yang disebut *controller*. Tugas membuka dan menutup *valve* tidak lagi dikerjakan oleh operator tetapi atas perintah *controller*. Untuk keperluan pengendalian otomatis, *valve* harus dilengkapi dengan alat yang disebut *actuator*, sehingga unit *valve* yang sekarang menjadi unit yang disebut *control valve*. Semua

peralatan pengendalian inilah (*controller* dan *control valve*) yang disebut sebagai instrumentasi pengendalian proses.

2.1.1 Istilah dan Elemen dalam Sistem Pengendalian

Berikut ini adalah istilah dan elemen-elemen dalam sistem pengendalian :

1. *Process* (Proses)

Proses merupakan sebagai operasi atau perkembangan alamiah yang berlangsung secara kontinyu yang ditandai oleh suatu deretan perubahan kecil yang berurutan dengan cara yang relatif tetap dan menuju ke suatu hasil atau keadaan akhir tertentu. Input proses dapat bermacam-macam, yang pasti merupakan besaran yang dapat dimanipulasi oleh *final control* element atau *control valve* agar *measurement variable* sama dengan *set point*.

2. *Plant*

Plant adalah seperangkat peralatan, mungkin hanya terdiri dari beberapa bagian mesin yang bekerja bersama-sama, yang dilakukan untuk melakukan suatu operasi tertentu. Atau dengan kata lain *plant* adalah objek yang dikendalikan.

3. *System* (Sistem)

Sistem adalah kombinasi dari beberapa komponen yang bekerja bersama-sama dan melakukan suatu sasaran tertentu.

4. *Controlled Variable*

Controlled variable adalah besaran atau variable yang dikendalikan. Besaran ini pada diagram kotak disebut juga dengan keluaran (*output*) proses atau *process variable*.

5. *Manipulated Variable*

Manipulated variable adalah masukan dari suatu proses yang dapat dimanipulasi atau di ubah-ubah besarnya agar *process variable* atau *control variable* besarnya sama dengan *set point*.

6. *Disturbance* (Gangguan)

Disturbance adalah suatu sinyal yang cenderung mempunyai pengaruh yang merugikan pada harga keluaran sistem atau biasa disebut dengan besaran lain, *manipulated variable* yang menyebabkan berubahnya *controlled variable*, besaran ini juga disebut dengan *load*.

7. *Sensing Element*

Sensing element adalah bagian yang paling ujung suatu sistem pengukuran (*measuring system*), bagian ini juga disebut dengan sensor atau *primary element*.

8. *Tranducer* dan *Transmitter*

Transducer adalah unit pengalih sinyal sedangkan *transmitter* adalah alat yang berfungsi membaca sinyal sensing element dan mengubahnya menjadi sinyal yang dapat dimengerti oleh *controller*. *Transmitter* lebih khusus pemakaiannya dalam sistem pengukuran.

9. *Measurement Variable*

Measurement Variable adalah sinyal yang keluar dari transmitter. Besaran ini merupakan cerminan besarnya sinyal sistem pengukuran.

10. *Set Point*

Set point besar *process variable* yang dikehendaki. Sebuah *controller* akan selalu berusaha menyamakan *controlled variable* dengan *set point*.

11. *Error*

Error adalah selisih antara *set point* dikurangi dengan *measured variable*. Error bisa negatif dan bisa juga positif. Bila *set point* lebih besar dari *measured variable* demikian sebaliknya bila *set point* lebih kecil dari *measured variable* maka error akan negatif.

12. *Controller*

Controller adalah elemen yang mengerjakan tiga dari empat tahap langkah pengendalian yaitu membandingkan *set point* dengan *measurement variable*, menghitung berapa banyak koreksi yang dilakukan, dan mengeluarkan sinyal koreksi sesuai dengan hasil perhitungan tadi. *Controller* sepenuhnya menggantikan peran manusia dalam mengendalikan sebuah proses. *Controller* sering diterjemahkan sebagai alat pengendalian.

13. *Feedback* (Umpan Balik)

Umpan balik adalah sifat dari suatu sistem untai tertutup yang memungkinkan keluarannya bias dibandingkan dengan masukan sistem itu agar tindakan pengendalian yang tepat sebagai fungsi dari keluaran dan masukannya bias terjadi.

14. *Final Control Element*

Final control element adalah bagian terakhir dari instrumentasi sistem pengendalian. Bagian ini berfungsi untuk mengubah *measurement variable* dengan cara memanipulasi besarnya *manipulated variable*, berdasarkan perintah *controller*.^[2]

2.1.2 Pengelompokan Sistem Pengendalian

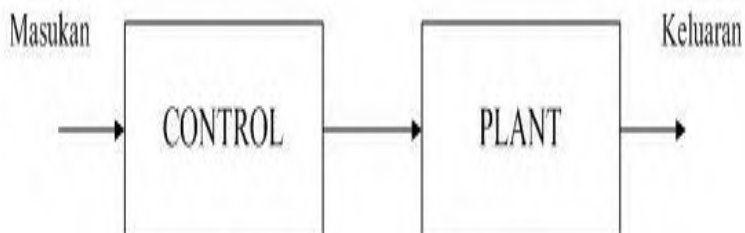
Sistem pengendalian dapat dikelompokkan menjadi 3 bagian yaitu:

1. Sistem Pengendalian Manual dan Otomatis

Sistem pengendalian digolongkan kedalam dua kategori umum yaitu: sistem manual dan otomatis. Perbedaan ini ditentukan oleh tindakan pengontrolan, dimana besaran ini bertanggung jawab menggerakkan sistem untuk menghasilkan keluarannya (*output*). Pengendalian secara manual adalah pengendalian yang dilakukan oleh manusia yang bertindak sebagai operator sedangkan pengontrolan secara otomatis adalah pengontrolan yang dilakukan oleh mesin atau peralatan yang bekerja secara otomatis dan operasinya dibawah pengawasan manusia. Pengendalian secara manual banyak ditemukan dalam kehidupan sehari-hari seperti penyetelan radio dan televisi sedangkan secara otomatis didalam proses industri, pengendalian pesawat dan pembangkit tenaga listrik.

2. Sistem Pengendalian Loop Terbuka dan Loop Tertutup

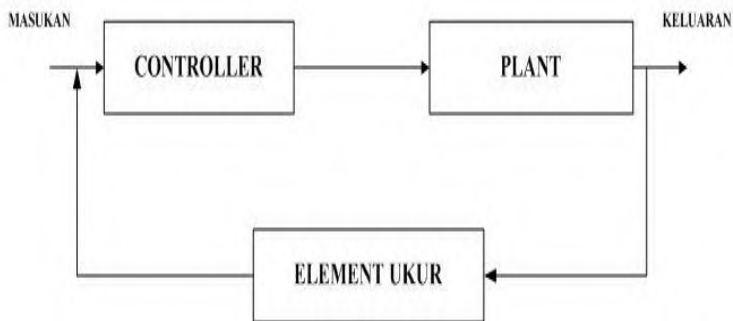
Sistem loop terbuka (*open loop*) adalah sistem pengendalian yang keluarannya tidak berpengaruh pada aksi pengendalian. Jadi pada sistem pengendalian loop terbuka, keluaran tidak diukur atau diumpan balikkan untuk dibandingkan dengan masukan. Gambar 2.1 menunjukkan hubungan masukan keluaran untuk sistem loop terbuka.



Gambar 2.1 sistem pengendalian loop terbuka^[2]

Ada dua keistimewaan dalam sistem loop terbuka, antara lain sebagai berikut :

1. Ketelitian dari sistem loop terbuka tergantung pada kalibrasinya.
2. Sistem ini lebih stabil. Sistem pengendalian loop tertutup adalah sistem pengendalian yang sinyal keluarannya mempunyai pengaruh langsung pada aksi pengendalian. Jadi sistem pengendalian tertutup adalah sistem sistem pengendalian berumpan balik (*feedback control*). Sistem pengendalian loop tertutup menggunakan aksi umpan balik untuk memperkecil kesalahan sistem.



Gambar 2.2 Sistem pengendalian loop tertutup^[2]

Adapun keistimewaan dalam sistem pengendalian loop tertutup adalah :

1. Meningkatkan ketelitian dengan kemampuan untuk menghasilkan kembali inputnya
2. Mengurangi akibat-akibat ketidaklinieran
3. Memperbesar *band width* (jangkauan frekuensi)

2.2 Heat Exchanger

Heat exchanger atau penukar panas adalah alat yang digunakan untuk menukarkan panas secara kontinu dari suatu medium ke medium lainnya dengan membawa energi panas.

Suatu *heat exchanger* terdiri dari elemen penukar kalor yang disebut sebagai inti atau matrix yang berisikan di dinding penukar panas, dan elemen distribusi fluida seperti tangki, *nozzle* masukan, *nozzle* keluaran, pipa-pipa, dan lain-lain. Biasanya, tidak ada pergerakan pada bagian-bagian dalam *heat exchanger*. Namun, ada pengecualian untuk *regenerator rotary* dimana matriksnya digerakan berputar dengan kecepatan yang dirancang. Dinding permukaan *heat exchanger* adalah bagian yang bersinggungan langsung dengan fluida yang mentransfer panasnya secara konduksi.



Gambar 2.3 *Heat Exchanger*^[3]

2.2.1 Prinsip Kerja *Heat Exchanger*

Heat exchanger bekerja berdasarkan prinsip perpindahan panas (*heat transfer*), dimana terjadi perpindahan panas dari fluida yang temperaturnya lebih tinggi ke fluida yang temperaturnya lebih rendah. Biasanya, ada suatu dinding metal yang menyekat antara kedua cairan yang berlaku sebagai konduktor. Suatu solusi panas yang mengalir pada satu sisi yang mana memindahkan panasnya melalui fluida lebih dingin yang mengalir di sisi lainnya. Energi panas hanya mengalir dari yang lebih panas kepada yang lebih dingin dalam percobaan untuk

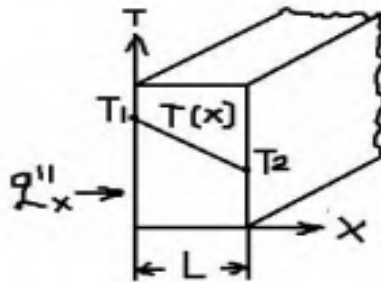
menjangkau keseimbangan. Permukaan area *heat exchanger* mempengaruhi efisiensi dan kecepatan perpindahan panas yang lebih besar area permukaan *heat exchanger*, lebih efisien dan yang lebih cepat pemindahan panasnya.^[3]

2.2.2 Heat Transfer

Heat transfer adalah perpindahan panas yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur pada suhu sistem. Berikut ini merupakan macam-macam perpindahan panas :

a. Konduksi

Konduksi ialah pemindahan panas yang dihasilkan dari kontak langsung antara permukaan benda. Konduksi terjadi hanya dengan menyentuh atau menghubungkan permukaan-permukaan yang mengandung panas. Pada perpindahan panas secara konduksi sangat dipengaruhi oleh sifat thermal dari material tersebut. Distribusi temperatur pada perpindahan panas secara konduksi satu dimensi dapat dilihat pada gambar 2.4 :



Gambar 2.4 Skema Distribusi Temperatur Pada Satu Dimensi^[4]

b. Konveksi

Pada perpindahan panas secara konveksi, peran media berupa fluida sangat mempengaruhi besarnya panas yang

diterima oleh suatu material yang mengalami kontak langsung dengan fluida.

c. Radiasi

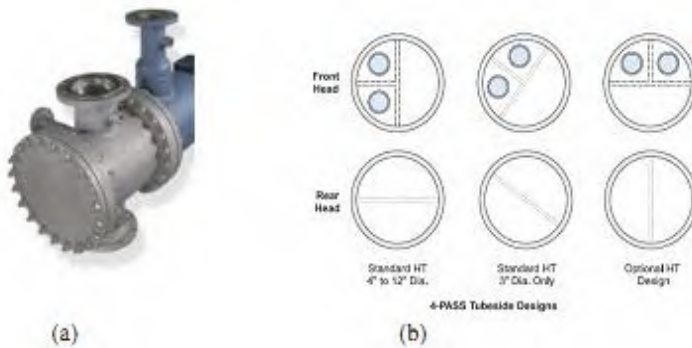
Radiasi adalah proses perpindahan panas melalui gelombang elektromagnet atau paket-paket energi (photon) yang dapat merambat sampai jarak yang sangat jauh tanpa memerlukan interaksi dengan medium.^[4]

2.3 Komponen–komponen *Shell and Tube Heat Exchanger*

Berikut ini adalah komponen-komponen *shell* dan *tube* pada heat exchanger :

1. *Head*

Head yaitu kepala heat exchanger yang berfungsi sebagai penutup bagian depan dan belakang shell. Bentuk dari kepala heat exchanger ini adalah lingkaran. Tebal plat dari kepala heat exchanger ini tergantung dengan hasil perhitungan yang ditentukan dari karakteristik fluida yang akan diproses di dalam *heat exchanger*. *Head* ini dapat dihubungkan dengan dinding bejana (*shell*) *heat exchanger* dengan baut dan *connection tubesheet* dimana ukuran atau diameter dari pada head harus sama dengan *shell*, untuk ketebalan bejana akan sedikit lebih tipis dibandingkan dengan ketebalan dinding, sedangkan untuk jenis material sama dengan material yang digunakan pada *shell*. Berikut ini adalah gambar komponen *head* pada *heat exchanger* yang terdapat pada gambar 2.5 di bawah ini :



Gambar 2.5 (a) *Head*; (b) Desain *Heat Exchanger Shell*^[5]

Shell merupakan komponen *heat exchanger* tempat terjadinya proses pertukaran kalor antar fluida. *Shell* berbentuk silinder yang dapat menahan tekanan dari luar. Tebalnya *shell* tergantung dari hasil perhitungan dan dari karakteristik fluida yang akan diproses didalamnya, dimana dinding *shell* terbuat dari plat baja yang di *roll* dibentuk menjadi suatu diameter lingkaran yang berbentuk tabung. Berikut ini adalah contoh gambar *shell heat exchanger* :



Gambar 2.6 *Shell*

2. *Tube*

Tube adalah pipa-pipa berukuran kecil sebagai tempat mengalirnya fluida yang akan didinginkan atau dipanaskan

pada *heat exchanger*. Ukuran dari pipa ini diperoleh dari asumsi dan perhitungan perpindahan panasnya. Biasanya terbuat dari material yang memiliki konduktivitas *thermal* yang besar. Bentuk dari *tube* dapat disesuaikan dengan *heat exchanger* yang akan digunakan seperti terlihat pada gambar 2.7 dibawah ini :



Gambar 2.7 Tube

3. *Nozzle*

Nozzle berfungsi sebagai penghubung antara *shell* dengan proses pemipaan aliran fluida yang akan dialirkan keluar masuk (*nozzle outlet inlet*) dari dan *shell* itu sendiri, dari dan ke proses lanjutan kedalam sistem pemipaan atau *interface* atau alat-alat instrumen pendukung lainnya. Bentuk *nozzle* yang digunakan dapat dilihat pada gambar 2.8 :



Gambar 2.8 *Nozzle*^[5]

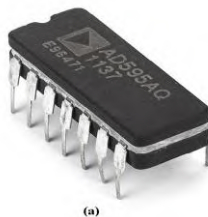
2.4 Thermocouple Tipe K

Thermocouple adalah dua logam yang didekatkan yang apabila terpapar oleh kalor dengan suhu tertentu akan menghasilkan beda potensial. *Thermocouple* suhu didefinisikan sebagai jumlah dari energi panas dari sebuah objek atau sistem. Perubahan suhu dapat memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap proses ataupun material pada tingkatan molekul. Sensor suhu adalah *device* yang dapat melakukan deteksi pada perubahan suhu berdasarkan pada parameter-parameter fisik seperti hambatan, ataupun perubahan *voltage*. Salah satu jenis sensor suhu yang banyak digunakan sebagai sensor suhu pada suhu tinggi adalah *thermocouple*.^[6] Bentuk dari thermocouple dapat dilihat pada gambar 2.9 di bawah ini :

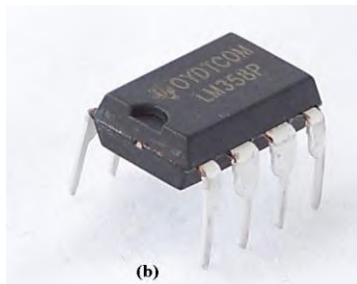


Gambar 2.9 *Thermocouple* Tipe K^[6]

Dalam penggunaan sensor *thermocouple* tipe K ini tidak bisa langsung di rangkai ke Mikrokontroller ATmega8535, tetapi harus membutuhkan rangkaian *cold junction* yang merupakan rangkaian dimana terdapat sebuah *amplifier* atau penguat dengan menggunakan IC AD595AQ sebagai *amplifier* khusus untuk *thermocouple* dan IC LM358 sebagai *amplifier* tambahan. Berikut ini merupakan gambar *thermocouple* tipe K beserta IC AD595AQ dan IC LM358 yang di tunjukkan pada gambar 2.10 :



(a)



(b)

Gambar 2.10 (a) IC AD595AQ; (b) IC LM358^[7]

2.5 Solenoid Valve

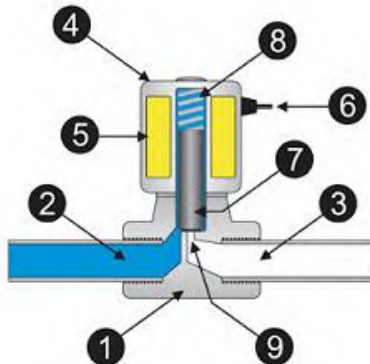
Solenoid Valve adalah katup yang digerakan oleh energi listrik, mempunyai kumparan sebagai penggeraknya yang berfungsi untuk menggerakkan piston yang dapat digerakan oleh arus AC maupun DC. *Solenoid Valve* atau katup *solenoid* mempunyai lubang keluaran, lubang masukan, dan lubang exhaust. Lubang masukan berfungsi sebagai tempat cairan masuk, lalu lubang keluaran berfungsi sebagai tempat cairan keluar yang dihubungkan ke beban, sedangkan lubang *exhaust* berfungsi sebagai saluran untuk mengeluarkan cairan yang terjebak saat piston bergerak atau pindah posisi ketika *solenoid valve* bekerja. Pada perancangan tugas akhir yang dilakukan, jenis *solenoid valve* yang digunakan adalah logam kuningan dikarenakan fluida yang akan melewati *solenoid valve* adalah fluida bersuhu tinggi/ atau panas. Berikut ini adalah gambar *solenoid valve* yang digunakan sesuai dengan gambar 2.11 :



Gambar 2.11 Solenoid Valve^[8]

Prinsip kerja dari *solenoid valve* yaitu katup listrik yang mempunyai koil sebagai penggeraknya dimana ketika koil mendapat *supply* tegangan maka koil tersebut akan berubah menjadi medan magnet sehingga menggerakkan piston pada bagian dalamnya. Ketika piston berpindah posisi maka pada lubang keluaran dari *solenoid valve* akan keluar cairan yang berasal dari *supply*. Pada umumnya *solenoid valve* mempunyai

tegangan kerja 100/200 VAC namun ada juga yang mempunyai tegangan kerja DC. Berikut ini merupakan gambar struktur *solenoid valve* :



Gambar 2.12 Struktur *Solenoid Valve*^[8]

Keterangan Gambar :

1. *Valve Body*.
2. Terminal masukan (*Inlet Port*).
3. Terminal keluaran (*Outlet Port*).
4. Koil / koil *solenoid*.
5. Kumparan gulungan.
6. Kabel suplai tegangan.
7. *Plunger*.
8. *Spring*.
9. Lubang / *exhaust*.^[8]

2.6 Relay

Relay adalah komponen elektronika berupa saklar elektronik yang digerakkan oleh arus listrik. Secara prinsip *relay* merupakan tuas saklar dengan lilitan kawat pada batang besi (*solenoid*) di dekatnya. Ketika *solenoid* dialiri arus listrik, tuas akan tertarik karena adanya gaya magnet yang terjadi pada *solenoid* sehingga

kontak saklar akan menutup. Pada saat arus dihentikan, gaya magnet akan hilang, tuas akan kembali ke posisi semula dan kontak saklar kembali terbuka. *Relay* biasanya digunakan untuk menggerakkan arus/tegangan yang besar (misalnya peralatan listrik 4 *ampere* 220 V AC) dengan memakai arus atau tegangan yang kecil (misalnya 0.1 *ampere* 12 V DC). Konfigurasi dari kontak-kontak *relay* ada dua jenis, yaitu:

1. *Normally Open* (NO), apabila kontak-kontak tertutup saat *relay* dicatu.
2. *Normally Closed* (NC), apabila kontak-kontak terbuka saat *relay* dicatu *Change Over* (CO), *relay* mempunyai kontak tengah yang normal tertutup, tetapi ketika *relay* dicatu kontak tengah tersebut akan membuat hubungan dengan kontak-kontak yang lain. Penggunaan *relay* perlu memperhatikan tegangan pengontrolnya serta kekuatan *relay* untuk *switch* arus/tegangan.^[9] Biasanya ukurannya tertera pada bodi relay sesuai dengan gambar 3.12 berikut ini :

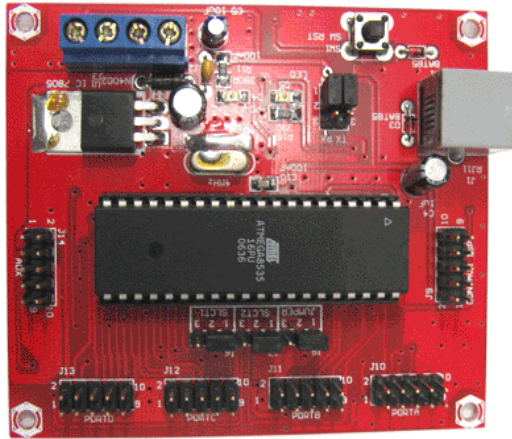


Gambar 2.13 *Relay*^[9]

2.7 Mikrokontroler ATmega8535

Mikrokontroler adalah IC yang dapat diprogram berulang kali, baik ditulis atau dihapus, biasanya digunakan untuk pengontrolan otomatis dan manual pada perangkat elektronika. Mikrokontroler AVR ATmega8535 memiliki fitur yang cukup lengkap. Mikrokontroler AVR ATmega8535 telah dilengkapi dengan ADC internal, EEPROM internal, *Timer/Counter*, PWM, analog comparator, dll. Sehingga dengan fasilitas yang lengkap ini memungkinkan kita belajar mikrokontroler keluarga AVR dengan lebih mudah dan efisien, serta dapat mengembangkan kreativitas penggunaan mikrokontroler ATmega8535. Berdasarkan uraian tersebut, mikrokontroler ATmega8535 ditunjukkan pada gambar 2.14. Fitur-fitur yang dimiliki oleh mikrokontroler ATmega8535 adalah sebagai berikut :

1. Saluran I/O sebanyak 32 buah, yaitu *port A*, *port B*, *port C*, dan *port D*.
2. ADC internal sebanyak 8 saluran.
3. Tiga buah *Timer/Counter* dengan kemampuan perbandingan.
4. CPU yang terdiri atas 32 buah *register*.
5. SRAM sebesar 512 *byte*.
6. Memori Flash sebesar 8 kb dengan kemampuan *Read While Write*.
7. Port antarmuka SPI
8. EEPROM sebesar 512 *byte* yang dapat diprogram saat operasi.
9. Antarmuka komparator analog.
10. Port USART untuk komunikasi serial.
11. Sistem mikroprosesor 8 bit berbasis RISC dengan kecepatan maksimal 16 MHz.
12. Dan lain-lainnya.



Gambar 2.14 Mikrokontroler ATmega8535^[10]

Berikut ini merupakan fungsi dari masing-masing pin ATmega8535 :

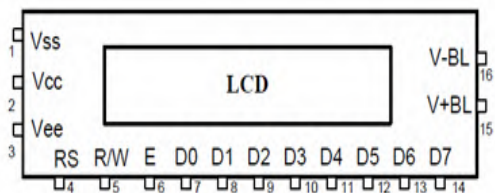
1. VCC = pin masukan catu daya.
2. GND = pin *ground*.
3. Port A (PA0-PA7) = pin I/O (*bidirectional*), pin ADC.
4. Port B (PB0-PB7) = pin I/O (*bidirectional*), pin timer/counter, analog *comparator*, SPI.
5. Port C (PC0-PC7) = pin I/O (*bidirectional*), TWI, analog *comparator*, *Timer oscillator*.
6. Port D (PD0-PD7) = pin I/O (*bidirectional*), analog *comparator*, interupsi eksternal, USART.
7. RESET = pin untuk me-reset mikrokontroler.
8. XTAL1 & XTAL2 = pin untuk clock eksternal.
9. AVCC = pin *input* tegangan ADC.
10. AREF = pin *input* tegangan referensi ADC.^[10]



Gambar 2.15 IC ATmega8535^[10]

2.8 LCD (*Liquid Cristal Display*)

LCD (*Liquid Cristal Display*) adalah sebuah teknologi penampil atau monitor. Modul LCD dengan tampilan 16x2 terdiri dari dua bagian. Pada bagian pertama merupakan panel LCD sebagai media untuk menampilkan informasi berbentuk huruf, simbol maupun angka. LCD 16x2 dapat menampung dua baris, dimana tiap baris dapat menampilkan 16 karakter. Bagian kedua merupakan rangkaian elektronika yang dibentuk dengan mikrokontroler, berada dibalik panel LCD. Bagian ini mempunyai fungsi mengatur tampilan informasi serta berfungsi mengatur komunikasi LCD dengan mikrokontroler. Berikut ini konfigurasi LCD 16 x 2 serta penjelasannya :



Gambar 2.16 Konfigurasi LCD 16x2^[11]

Tabel 2.1 Konfigurasi LCD 16x2

No	Symbol	Level	Fungsi
1	<u>V_{ss}</u>	-	0 Volt
2	<u>V_{cc}</u>	-	5 + 10% Volt
3	<u>V_{ee}</u>	-	<u>Penggerak LCD</u>
4	RS	H/L	H= <u>memasukan data</u> L= <u>memasukan Ins</u>
5	R/W	H/L	H= <u>Baca</u> L= <u>Tulis</u>
6	E		Enable Signal
7	DB0	H/L	Data Bus
8	DB1	H/L	
9	DB2	H/L	
10	DB3	H/L	
11	DB4	H/L	
12	DB5	H/L	
13	DB6	H/L	
14	DB7	H/L	
15	V-BL		<u>Kecerahan LCC</u>
16	V-BL		

Berikut ini adalah karakteristik LCD 16x2 :

1. Tampilan 16 karakter, 2 baris.
2. ROM pembangkit karakter 192 jenis.
3. RAM pembangkit karakter 8 jenis.
4. RAM data tampilan 80x8 bit (8 karakter).
5. Duty ratio 1/16.
6. RAM data tampilan dan RAM pembangkit karakter dapat dibaca dari unit mikroprosesor.
7. Beberapa fungsi perintah antara lain adalah penghapusan tampilan (display clear), posisi kursor awal (crusor home), tampilan karakter kedip (display character blink), pergeseran kursor (crusor shift) dan pergeseran tampilan (display shift).
8. Rangkaian pembangkit detak (clock).

9. Rangkaian otomatis reset saat daya dinyalakan.
10. Catu daya tunggal 5 V DC.^[11]

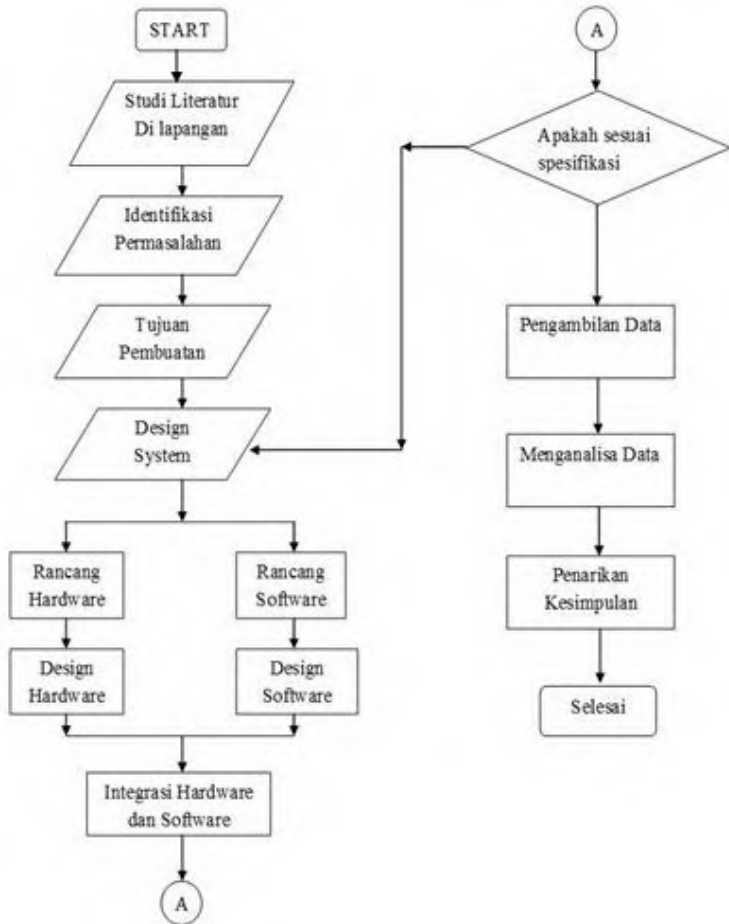
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1 Tahap-tahap Pengerjaan Tugas Akhir

Berikut ini adalah tahapan-tahapan perancangan alat :



Gambar 3.1 *Flowchart Pengerjaan Tugas Akhir*

3.2 Perancangan mekanik Alat

Rancang Bangun Sistem Pengendalian Temperatur pada *Tube Heat Exchanger* Tipe *Shell* dan *Tube* adalah sebuah rangkaian dari beberapa komponen mekanik dan elektrik yang membentuk suatu sistem pengendali pada *mini plant heat exchanger*, yang mana *miniplant* ini dapat menghasilkan produk fluida dingin berupa air.

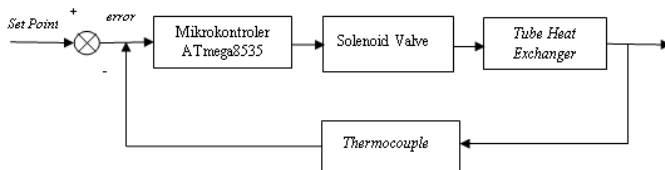
3.2.1 Perancangan Mekanik *Mini Plant Heat Exchanger*

Perancangan mekanik alat dimulai dari pembuatan tangki tertutup berisi *shell* dan *tube* yang terbuat dari bahan *stainless*, dimana *shell* berdiameter 15 cm, panjang 70 cm dan tube berdiameter 1 inchi. Kemudian dilakukan pembuatan tangki yang terbuat dari bahan *stainless* berisi heater 1500 watt sebagai pemanas fluida air dan tangki lain berbahan plastik untuk air sebagai fluida dingin. Selain itu terdapat 2 bak tambahan berbahan plastik yang digunakan untuk wadah fluida *output heat exchanger* berupa air panas dan oli dingin. Pada *miniplant heat exchanger* ini, terdiri atas dua saluran, yaitu saluran pada tangki berisi heater yang nantinya akan masuk dalam bagian *tube heat exchanger* yang terbuat dari bahan *stainless* yang kemudian akan meneruskannya untuk keluar dari *heat exchanger* menuju bak penampung produk akhir yang dialirkan kembali dan dipompa agar terjadi sirkulasi fluida. Pada tangki berisi air, saluran pipa yang digunakan berbahan pvc dengan ukuran $\frac{3}{4}$ inchi yang akan disambungkan dengan bagian *shell* pada *heat exchanger*, kemudian pada bagian tersebut akan dilanjutkan menuju bak penampung untuk dilairkan kembali dan dipompa untuk sirkulasi fluida berupa air. Pada *heat exchanger* dilengkapi dengan gelas ukur untuk mengetahui jumlah *fluida output* per detik serta alat ukur suhu pada kedua bak penampung keluaran *fluida*, selain itu pada saluran keluaran *shell* juga dilengkapi manual *valve* untuk *safety*. Gambar A.1 pada lampiran A-1 menunjukkan gambar *p&id* keseluruhan sistem *mini plant heat exchanger*, gambar A.2 lampiran A-2 menunjukkan desain *mini plant heat exchanger* tipe

shell dan *tube* dan gambar A.3 pada lampiran A-3 menunjukkan *real mini plant heat exchanger* yang dirancang.

3.3 Perancangan Sistem Pengendalian Temperatur

Perancangan sistem pengendalian temperatur terletak pada bagian keluaran *tube mini plant heat exchanger*. Berikut ini adalah digram blok pengendaliannya :



Gambar 3.2 Diagram Blok Pengendalian

Dalam perancangan sistem ini, sensor yang digunakan *thermocouple* baut tipe K yang diletakkan pada sisi *outlet tube* seperti pada gambar A.4 pada lampiran A-4. Adapun komponen-komponen yang dibutuhkan dalam perancangan sistem pengendalian temperatur pada *tube mini plant heat exchanger* adalah sebagai berikut :

1. Sensor

Sensor adalah elemen yang berfungsi untuk mensizing *input* yang telah masuk. Dalam hal ini sensor yang digunakan berupa sensor *thermocouple* type K dengan *input* berupa fluida dingin yang didapatkan dari hasil proses *heat exchanger*.

2. Mikrokontroler ATmega8535

Fungsi dari elemen ini adalah sebagai kontroler yang digunakan untuk menerima data ADC yang nantinya akan dikirim ke *personal computer* dan selanjutnya akan diolah menjadi data temperatur.

3. Aktuator

Dalam perancangan sistem pengendalian temperature pada *tube mini plant heat exchanger* ini untuk komponen aktuator yang digunakan adalah *valve on-off* yaitu *solenoid valve* yang dijalankan dengan logika *relay*.

4. *Personal Computer*

Fungsi dari komponen ini berupa *display* yang merupakan representasi dari hasil pengukuran yang berupa grafik. Dalam hal ini *software* yang digunakan sebagai *display* adalah Lab View.

3.4 Perancangan *Hardware*

Dalam perancangan *hardware* pada mini plant heat exchanger menggunakan beberapa komponen yang telah dijabarkan sebelumnya. Pada sistem pengendalian suhu ini, masing-masing bagian tersebut dirangkai menjadi satu kesatuan proses dengan *variable* pengendalian berupa suhu. Berikut ini adalah tahap-tahap perancangan sistem pengendalian

1. Perancangan *Power Supply*

Power supply 5 V DC TIP32 merupakan catu daya yang dapat memberikan output stabil dengan tegangan 5 V DC dan arus 2 ampere. Rangkaian *power supply* ini menggunakan regulator tegangan positif IC LM7805 dan penguat arus berupa transistor PNP TIP32. Rangkaian *power supply 5 V DC* ini dapat digunakan untuk memberikan sumber tegangan DC 5 Volt ke rangkaian digital atau mikrokontroler. Sementara untuk beberapa bagian *power supply 24 volt* dijelaskan sebagai berikut. *Stepdown transformer* adalah komponen yang bertugas menurunkan tegangan 220 V AC PLN menjadi 24 V AC. Komponen yang digunakan sebagai *stepdown* adalah *transformer stepdown* dengan sekunder 24 V AC tanpa CT 35A. *Rectifier* atau penyearah gelombang pada rangkaian *power supply* menggunakan dioda *bridge 35A*. Komponen ini

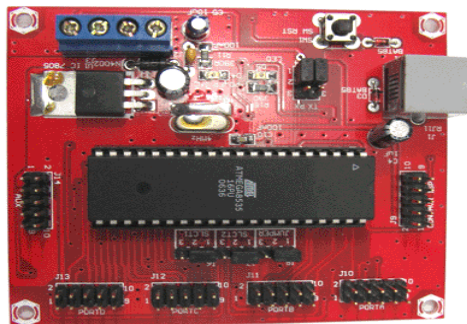
berfungsi untuk mengubah gelombang AC *output transformer* menjadi gelombang DC.



Gambar 3.3 Modul *Power supply*

2. Mikrokontroler ATmega8535 sebagai Kontroler

Mikrokontroler adalah IC yang dapat diprogram berulang kali, baik ditulis atau dihapus. Biasanya digunakan untuk pengontrolan otomatis dan manual pada perangkat elektronika. Mikrokontroler ATmega8535 memiliki beberapa fitur antara lain telah dilengkapi dengan ADC internal, EEPROM internal, Timer/Counter, PWM, analog comparator, dll.



Gambar 3.4 Mikrokontroler ATmega8535

3. Perancangan Display pada LCD 16 x 2

LCD yang digunakan 2 baris x 16 kolom. LCD memiliki memori internal yang berisi definisi karakter sesuai dengan standar ASCII (CGROM - *Character Generator ROM*) dan memori sementara (RAM) yang bisa digunakan bila memerlukan karakter khusus (berkapasitas 8 karakter). RAM ini juga berfungsi untuk menyimpan karakter yang ingin ditampilkan di LCD. Berikut ini merupakan tabel 3.1 yang menunjukkan kegunaan pin LCD 2x16 :

Tabel 3.1 Pin LCD 2x16

Pin	Deskripsi
1	Ground
2	Vcc
3	Pengatur kontras
4	“RS” Instruction/Register Select
5	“R/W” Read/Write LCD Registers
6	“EN” Enable
7-14	Data I/O Pins
15	Vcc
16	Ground

Pin untuk LCD sendiri adalah pin pengisian data agar data dapat diterima dan diolah melalui Mikrokontroler ke LCD. Sebelum data dibaca oleh LCD maka data diisi oleh RS. Untuk pemrograman mikrokontroler menggunakan *software* atmel ISP yang merupakan *software* untuk mendownload ke mikrokontroler. Rangkaian LCD dan Mikrokontroler ATmega8535 dapat dilihat pada gambar A.5 lampiran A-5.

Perancangan Sensor *Thermocouple* Baut Tipe K Pada *Mini Plant Heat Exchanger*.

Adapun spesifikasi dari sensor *thermocouple* baut yang digunakan sebagai berikut :

- Range pengukuran : 0-400°C
- Panjang kabel : 1 m (3.28 ft)

- Lebar kawat : 6,35 mm ($\frac{1}{4}$ ")
- Pelindung luar : Chromel-Alumel.
- Jumlah probe : 1
- Dimensi ujung sensor : 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ ")
- Berat : 20g/0,72 oz



Gambar 3.5 Pemasangan Sensor *Thermocouple* pada *Mini Plant Heat Exchanger*

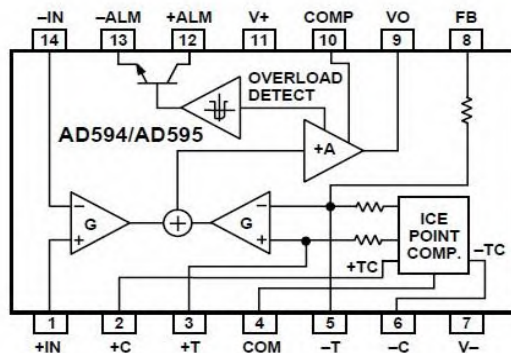
Keterangan :

■ : sensor *thermocouple* tipe K

Berdasarkan gambar 3.4, *Input* berupa suhu fluida pada *tube* keluaran *heat exchanger*. Setelah itu keluaran dari *thermocouple* masuk ke rangkaian pengkondisian sinyal yang berupa rangkaian menggunakan IC AD595AQ dan LM358. *Thermocouple* mempunyai tegangan keluaran yang sangat kecil yaitu $40,8 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ sesuai dengan yang dikeluarkan oleh *National Institute of Standards and Technology* (NIST), *thermocouple* tipe K memiliki keluaran antara -5,9 sampai 50,6 mV. Pembacaan suhu *thermocouple* berbeda dengan sensor suhu pada umumnya, *thermocouple* terdiri dari dua sambungan (*junction*), yaitu sambungan yang diukur (*measuring junction*)

dan sambungan referensi (*reference junction*). Untuk membaca suhu terukur adalah dengan menjumlahkan tegangan pada kedua sambungan (*junction*) tersebut kemudian melihat tabel referensi *thermocouple* yang dikeluarkan oleh *National Institute of Standards and Technology* (NIST), dimana setiap tegangan keluaran *thermocouple* menunjukkan suhu tertentu.

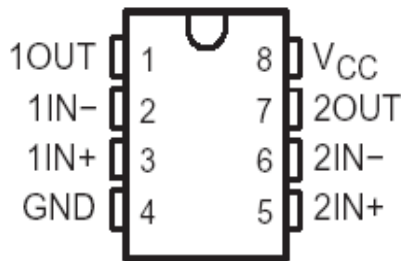
Pada rangkaian pengkondisian sinyal terdapat 2 IC, yaitu IC AD595AQ dan IC LM358 yang mana digunakan sebagai penguat sinyal dari *thermocouple*, karena *output* dari sensor masih sangat kecil sehingga perlu dikuatkan agar dapat dibaca oleh pemroses sinyal.



Gambar 3.6 IC AD595AQ

Sesuai dengan gambar 3.6, AD595AQ merupakan sebuah IC (*integrated circuit*) pengkondisi sinyal *thermocouple* yang menyediakan kompensasi sambungan dingin (*cold junction compensation*) beserta penguatan. Rangkaian pengkondisi sinyal ini memerlukan suplai tegangan sebesar 5 V DC. Keluaran dari rangkaian pengkondisi sinyal berupa tegangan sebesar 10 mV untuk 1 °C. IC LM358 adalah IC penguat operasional ganda (*dual operational amplifiers* / Op-Amps). Komponen elektronika ini terdiri atas dua penguat operasional high-gain dengan kompensator frekuensi yang independen, dirancang untuk beroperasi cukup dari satu catu daya tunggal dengan

rentang tegangan yang lebar untuk fleksibilitas penuh dalam menerapkan rancangan rangkaian elektronika Anda. Dapat juga menggunakan catu daya terpisah selama perbedaan tegangan antara kedua catu daya antara 3V hingga 32V dan V_{CC} setidaknya 1,5 volt lebih tinggi dibanding tegangan masukan moda-bersama (*input common-mode voltage*). Tarikan dari arus pasokan rendah (*low supply current drain*) bersifat independen dari besarnya tegangan catu daya.



Gambar 3.7 IC LM358

Pada gambar 3.7 di bawah ini adalah desain sensor *thermocouple* beserta rangkaian pengkondisian sinyal menggunakan IC AD595AQ dan IC LM358 pada proteus dan gambar rangkaian pengkondisian sinyal yang telah dibuat menggunakan kedua ic tersebut ditunjukkan gambar A.6 lampiran A-6.

4. Modul *relay*

Modul *relay* ini dapat digunakan sebagai switch untuk menjalankan berbagai peralatan elektronika. Kendali *ON / OFF switch (relay)*, sepenuhnya ditentukan oleh nilai output sensor, yang setelah diproses Mikrokontroler akan menghasilkan perintah kepada relay untuk melakukan fungsi *ON / OFF*.

Relay merupakan komponen listrik yang bekerja berdasarkan prinsip induksi medan elektromagnetis. Jika sebuah penghantar

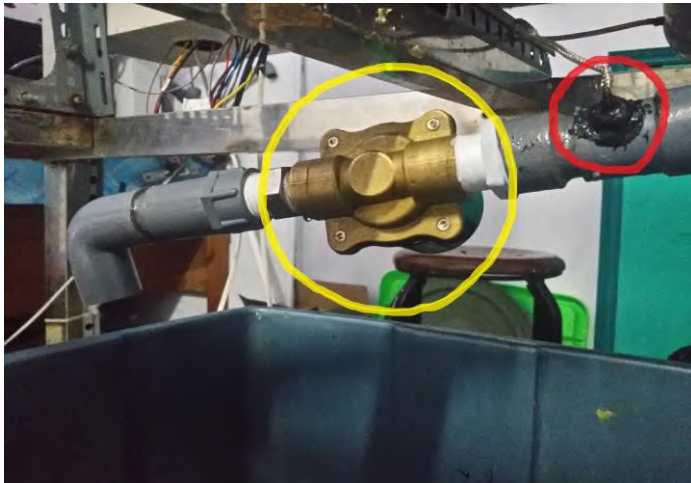
dialiri oleh arus listrik, maka di sekitar penghantar tersebut timbul medan magnet. Medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik tersebut selanjutnya diinduksikan ke logam ferromagnetis. **Logam ferromagnetis** adalah logam yang mudah terinduksi medan elektromagnetis. Ketika ada induksi magnet dari lilitan yang membelit logam, logam tersebut menjadi "**magnet buatan**" yang sifatnya sementara.



Gambar 3.8 Modul *Relay*

5. Perancangan aktuator *Solenoid Valve*

Solenoid valve bekerja berdasarkan instruksi dari *driver relay* yang mana mempunyai prinsip kerja *on-off* atau membuka dan menutup ketika set point yang diinginkan telah tercapai. Pada Mini plant heat exchanger yang dibuat, aktuator berupa *solenoid valve* diletakkan pada bagian pipa *output tube heat exchanger* yang disambungkan pada bagian sensor suhu yaitu *thermocouple* tipe K sesuai dengan gambar 3.9 berikut ini :



Gambar 3.9 Pemasangan *Solenoid Valve* pada *Mini Plant Heat Exchanger*

Keterangan :



: Sensor *thermocouple* tipe K



: *Solenoid valve*

3.5 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Perancangan software dimulai dari pemrograman sensor pada Mikrokontroler ATmega8535 yang kemudian akan di masukkan nilai *set point*. *Thermocouple* tipe K akan membaca dan akan mengkonversi menjadi nilai temperatur 45°C yang akan ditampilkan pada LCD. Kemudian data pengukuran akan menghasilkan *error*, dari *error* tersebut data diolah untuk menentukan pada *set point* berapa *valve* terbuka dan menutup sampai *set point* terpenuhi untuk nilai temperatur yang diinginkan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

Agar dapat mengetahui dan menganalisa sensor yang digunakan dan rangkaian yang telah dibuat dapat berfungsi dengan baik diperlukan adanya pengujian terhadap rangkaian yang telah dibuat. Berikut ini adalah pengujian yang dilakukan terhadap masing-masing komponen pendukung sistem pengendalian suhu *tube mini plant heat exchanger* :

4.1 Analisa Data

Pada pengujian sensor ini dilakukan dengan berbagai metode dengan tujuan untuk mengetahui sejauh mana sensor yang akan digunakan untuk mengukur temperatur mampu bekerja.

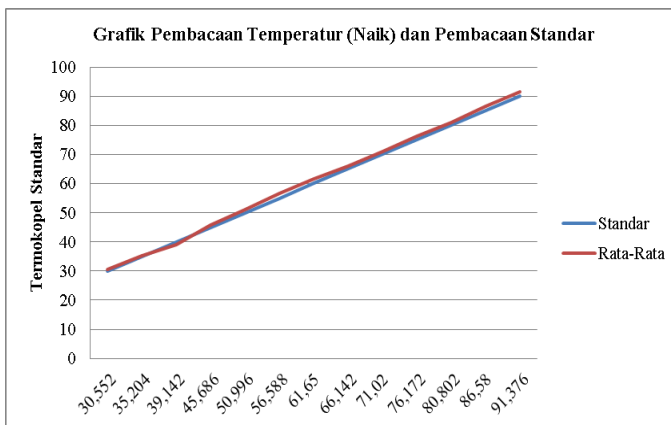
4.2 Pengujian Sensor

Pada pengujian sensor ini dilakukan dengan metode kalibrasi pembacaan berulang dengan tujuan mengetahui performansi alat yang digunakan ketika akan dilakukan pengendalian temperatur pada *mini plant heat exchanger*. Berikut ini merupakan data yang dihasilkan :

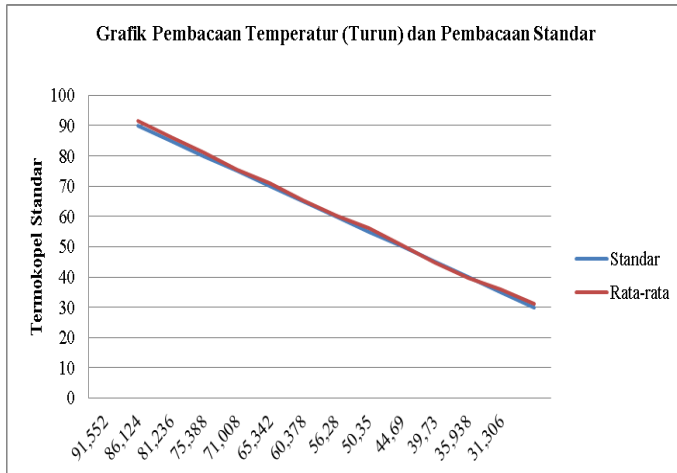
4.2.1 Pengujian Alat Ukur

Pengujian alat ukur ini dilakukan dengan membandingkan alat ukur standar (sebagai kalibrator) dan alat ukur suhu yang digunakan. Alat ukur standar yang digunakan adalah *Thermocouple* tipe K yang sudah terkalibrasi. Dalam hal ini kedua alat ukur tersebut mempunyai fungsi yang sama yaitu untuk mengukur suhu. Pengujian temperatur pada sensor *thermocouple* tipe K dilakukan pada *range* 30 °C – 90 °C yang

dilakukan sebanyak 5 kali pengulangan pada tiap kenaikan 5 °C. Selain itu dilakukan pengambilan data kalibrasi pembacaan berulang pada sensor *thermocouple* pada pembacaan suhu turun yaitu dengan range 90 – 30°C sebanyak 5 kali pengulangan pada pada tiap 5 °C penurunan suhu. Data pengukuran suhu (naik) dan suhu (turun) dapat dilihat pada tabel B.1 dan tabel B.2 yang terdapat pada lampiran B-1 dan lampiran B-2. Berdasarkan kedua tabel hasil pengujian pembacaan suhu (naik) dan suhu (turun) tersebut dihasilkan grafik kenaikan dan penurunan suhu yang dapat dilihat pada gambar 4.1 dan 4.2 sebagai berikut :



Gambar 4.1 Grafik Pembacaan Temperatur (Naik) dan Pembacaan Standar



Gambar 4.2 Grafik Pembacaan Temperatur (Turun) dan Pembacaan Standar

4.2.2 Perhitungan Hasil Kalibrasi Alat Ukur

Berdasarkan gambar 4.1 dan gambar 4.2 di atas, didapatkan hasil perhitungan sesuai dengan tabel B.3 pada lampiran B-3 yang menggunakan pembacaan suhu (naik) sebagai acuan dengan *range* suhu pembacaan 30 – 90 °C. Data yang terdapat pada lampiran B-3 digunakan untuk menghitung besar ketidakpastian alat ukur yang dibuat, sehingga dengan mengetahui hal tersebut bisa pula diketahui nilai ketidakpastian pengukuran (UA_1). Akan tetapi, sebelum menghitung nilai ketidakpastian dari alat ukur tersebut, maka perlu diketahui terlebih dahulu standard deviasi (σ) dari pengukuran tersebut. Adapun untuk menghitung standard deviasi (σ) sebagai berikut :

1. Standard deviasi :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}}$$

$$= 0,684901191$$

Keterangan :

y_i : Koreksi ke-i

n : Banyak data

Dari persamaan tersebut diketahui bahwa nilai dari standard deviasi sebesar 0,684901191. Sehingga untuk menghitung nilai ketidakpastian pendekatan regresi (UA_2) dengan mengetahui persamaan regresi ($Y_{reg} = a + bx$) dan *sum square residual* (SSR), maka dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$2. \quad b = \frac{n \sum t_i y_i - \sum y_i \sum t_i}{(\sum t_i^2) - (\sum t_i)^2}$$

$$= \frac{13 (-812,22) - (780) (-11,91)}{13 (51350) - (608400)}$$

$$= -0,01230348$$

Keterangan :

t_i : Pembacaan standar ke-i

y_i : Koreksi ke-i

n : Banyak data

$$3. \quad a = Y' - bx'$$

$$= (-0,91615) - (-0,7382088)$$

$$= -0,17794521$$

Keterangan :

Y' : Rata-rata koreksi

X' : Rata-rata pembacaan standar

4. SSR (*Sum Square Residual*)

$$\begin{aligned} SSR &= \sum (y_i - Y_{reg})^2 \\ &= 3,91570355 \end{aligned}$$

5. Ketidakpastian Hasil Pengukuran (U_{a1})

$$\begin{aligned} U_a &= \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \\ &= 0,189957412 \end{aligned}$$

6. Ketidakpastian alat standar (U_{a2})

$$\begin{aligned} U_{a2} &= \sqrt{\frac{SSR}{n-2}} \\ &= 0,6996 \end{aligned}$$

7. Ketidakpastian Tipe B (U_{b1})

$$\begin{aligned} U_{b1} &= \frac{\frac{1}{2} x_{Resolusi}}{\sqrt{3}} \\ U_{b1} &= 0,0003 \end{aligned}$$

8. Ketidakpastian Gabungan (U_c)

$$u_c(y) = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^N c_i u(x_i) \right]^2}$$

$$= 0,7249$$

9. Derajat Kebebaan Efektif (Veff)

$$V_{eff} = \frac{U_c^4}{\frac{U_{a_1}^4}{V_1} + \frac{U_{a_2}^4}{V_2} + \frac{U_{b_1}^4}{V_3} + \frac{U_{b_2}^4}{V_4}}$$

$$V_{eff} = 13,7598$$

10. Faktor Cakupan (k)

$$V_{eff} = 13,7598$$

$$K = 2,15 \text{ (dari tabel T-Student)}$$

11. Ketidakpastian Diperluas (Uexp)

$$U_{exp} = k \cdot U_c$$

$$U_{exp} = 0,7249 \times 2,15$$

$$U_{exp} = 1,558535$$

4.3 Karakteristik Statik Sensor *Thermocouple* Baut Tipe K

Karakteristik statik adalah karakteristik yang harus diperhatikan apabila alat tersebut digunakan untuk mengukur suatu kondisi yang tidak berubah karena waktu atau hanya berubah secara lambat laun. Untuk itu perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai karakteristik dari sensor *thermocouple* baut tipe K diantaranya sebagai berikut :

a. Sensitivitas

$$= \frac{\Delta O}{\Delta I} = \frac{91,376 - 30,552}{90 - 30} = 1,0137$$

b. Akurasi :

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right|$$

$$\begin{aligned}
 &= 1 - \left| \frac{60 - 60,91615}{60} \right| \\
 &= 1 - 0,0152691 \\
 &= 0,9847
 \end{aligned}$$

Keterangan :

Y_n = Rata-rata pembacaan standar (I)

X_n = Rata-rata pembacaan alat (O)

c. *Error* :

$$e = 1 - A$$

$$e = 1 - 0,9847$$

$$e = 0,0153$$

d. *Histerisis*

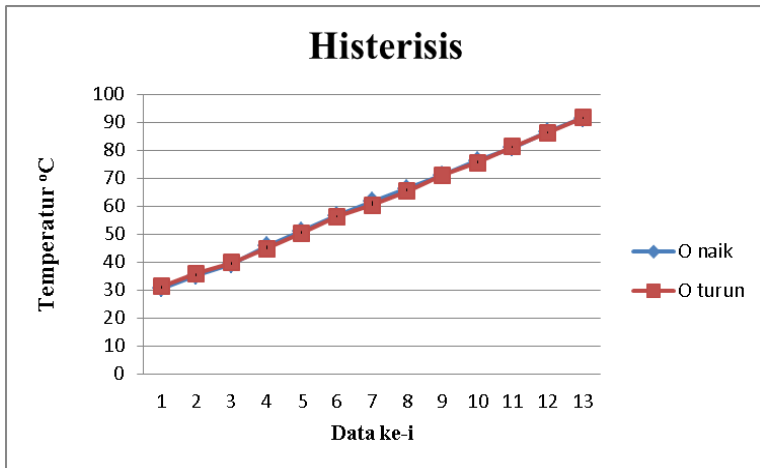
$$\hat{H} = \frac{O_{I\downarrow} - O_{I\uparrow}}{O_{\max} - O_{\min}} 100\%$$

$$\% \text{ Maksimum histeresis} = \frac{\hat{H}}{O_{\max} - O_{\min}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Maksimum histeresis} = \frac{0,012361}{91,552 - 30,552} \times 100\%$$

$$\% \text{ Maksimum histeresis} = 0,000203\%$$

Dari hasil perhitungan histerisis, didapatkan perbandingan pembacaan O naik dan O turun pada suhu 30 °C – 90 °C yang terdapat pada gambar 4.3 sebagai berikut :



Gambar 4.3 Grafik Histerisis

e. Linearitas

$$O_{ideal} = KI + a$$

dengan K adalah kemiringan garis:

$$K = \frac{O_{max} - O_{min}}{I_{max} - I_{min}}$$

dan a adalah pembuat nol (*zero bias*):

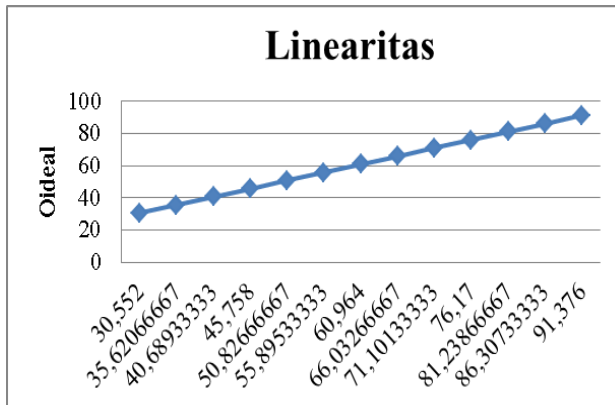
$$a = O_{min} - KI_{min}$$

Untuk menentukan linearitas diperlukan data perbandingan O_{ideal} dan data pembacaan alat sebagai berikut :

Tabel 4.1 Perhitungan Linearitas

Oideal	Pembacaan alat
Oideal (1)	30,552
Oideal (2)	35,62067
Oideal (3)	40,68933
Oideal (4)	45,758
Oideal (5)	50,82667
Oideal (6)	55,89533
Oideal (7)	60,964
Oideal (8)	66,03267
Oideal (9)	71,10133
Oideal (10)	76,17
Oideal (11)	81,23867
Oideal (12)	86,30733
Oideal (13)	91,376

Dari tabel 4.1 di atas, didapatkan grafik linearitas seperti pada gambar 4.4 yang menggambarkan kelinearan suhu sensor *thermocouple* yang dikalibrasi dengan kalibrator berupa thermometer digital standar yang dilengkapi dengan sensor *thermocouple* tipe K sebagai berikut :



Gambar 4.4 Linearitas

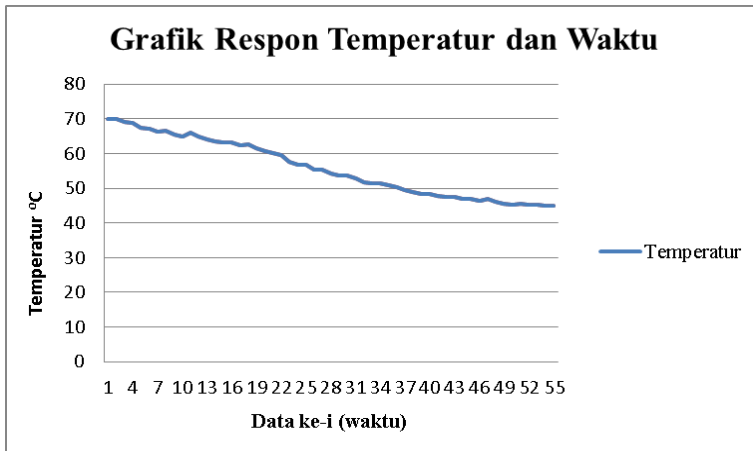
Berdasarkan perhitungan di atas, diperoleh nilai karakteristik statik dari sensor *thermocouple* baut tipe K diantaranya :

- a. Range : 30 °C – 90 °C
- b. Span : 90 °C
- c. Resolusi : 0,01
- d. Sensitivitas : 1,0137 °C
- e. Histerisis : 0,000203%
- f. Akurasi : 0,9847
- g. Error : 0,0153

4.4 Pengambilan Data Pada *Tube Output* di *Mini Plant Heat Exchanger* :

Pengambilan data temperatur pada *tube heat exchanger* bagian *output* dilakukan berdasarkan waktu dan temperatur yang telah di tentukan set pointnya yaitu 45 °C. Set point tersebut dapat tercapai selama 44 menit dari suhu fluida awal yaitu 45 °C sesuai dengan tabel B.4 yang ada pada lampiran B-4. Berdasarkan tabel B.4, didapatkan grafik respon antara waktu ke-i yang diperlukan untuk mencapai *set point* dan suhu fluida selama proses

pencapaian set point tersebut. Berikut ini adalah gambar grafik respon yang dapat dilihat pada gambar 4.5, sebagai berikut :



Gambar 4.5 Grafik Respon Temperatur dan Waktu

Dari gambar 4.5 didapatkan nilai maximum *overshoot* yaitu sebesar 1°C.

4.5 Perhitungan Efisiensi Perpindahan Panas

Berikut ini adalah perhitungan efisiensi perpindahan panas pada *mini plant heat exchanger* tipe *shell* dan *tube* :

Diketahui :

$$T_1 \text{ Tube} = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 \text{ Tube} = 45 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T \text{ Tube} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_1 \text{ Shell} = 29 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 \text{ Shell} = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T \text{ Shell} = 6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Debit Tube (Q) = 3,83 mL/s = $3,83 \times 10^{-3}$ L/s

Debit Shell (Q) = 2,5 mL/s = $2,5 \times 10^{-3}$ L/s

$$\dot{m}_{tube} = \rho \cdot V$$

$$\dot{m}_{tube} = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot (3,83 \times 10^{-6} \text{ L/s})$$

$$\dot{m}_{tube} = 3,83 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{m}_{shell} = \rho \cdot V$$

$$\dot{m}_{shell} = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot (2,5 \times 10^{-6} \text{ L/s})$$

$$\dot{m}_{shell} = 2,5 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$$

$$\eta = \frac{E_{shell}}{E_{tube}}$$

$$\eta = \frac{\dot{m}_{shell} c \Delta T_{shell}}{\dot{m}_{tube} c \Delta T_{tube}}$$

Karena fluida yang digunakan pada *shell* dan *tube* sama, yaitu air, maka *c* (kalor jenis) mempunyai nilai yang sama yaitu 4.200 Joule/kg°C, sehingga didapatkan hasil sebagai berikut :

$$\eta = \frac{\dot{m}_{shell} \Delta T_{shell}}{\dot{m}_{tube} \Delta T_{tube}}$$

$$\eta = \frac{2,5 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3 * 6 \text{ } ^\circ\text{C}}{3,83 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3 * 25 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$\eta = \frac{0,015}{0,09575}$$

$$\eta = 0,156$$

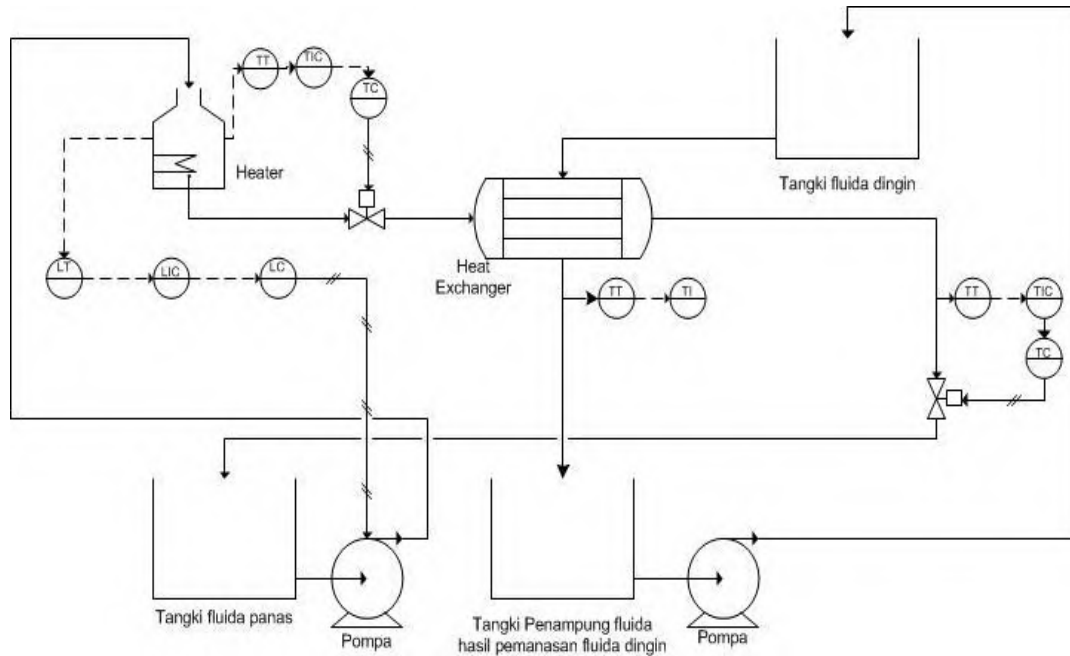
Dari hasil perhitungan diatas didapatkan nilai η sebesar 0,156 yang dapat dikatakan perpindahan panasnya baik karena nilai yang diperoleh < 1 .

4.6 Pembahasan

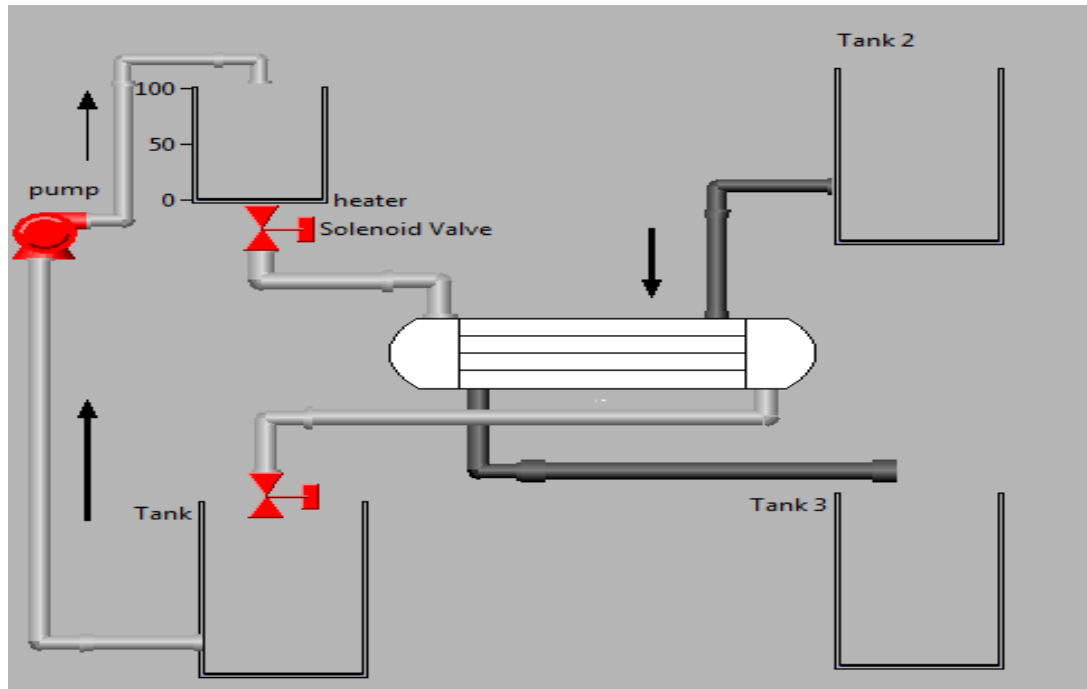
Pada tugas akhir yang berjudul sistem pengendalian temperatur *tube* pada *mini plan heat exchanger* tipe *shell* dan *tube* ini bertujuan untuk mengetahui keadaan temperatur di *tube output* melalui display pada PC dengan menggunakan software Lab view. Sensor yang digunakan adalah termokopel baut tipe K sebagai alat ukur temperatur dan ic AD595AQ serta ic LM358 sebagai rangkaian pengkondisian sinyal dan *amplifier*. Sebelum sensor ini digunakan perlu dilakukan kalibrasi untuk mengetahui performansi dari sensor tersebut. Kalibrasi sensor termokopel ini dilakukan dengan membandingkan data yang dihasilkan oleh *Thermocouple* tipe K (standar) dan *thermocouple* yang akan dikalibrasi dengan metode pembacaan berulang sebanyak 5 kali pembacaan pada range 30 °C - 90 °C. Setelah dilakukan pengujian dan pengambilan data sensor, selanjutnya dilakukan perhitungan kalibrasi. Dari tabel B.1 dan tabel B.2 yang terdapat pada lampiran B-1 dan B-2 didapatkan hasil pengukuran temperatur naik dan turun pada alat standar dan alat uji. Dari pembacaan tersebut dapat dicari nilai ketidakpastian pengukuran temperatur dengan hasil $U_{a1} = 0,189957412$, $U_{a2} = 0,6996$, $U_{b1} = 0,0003$, $U_{b2} = 0$, $U_c = 0,7249$. Sehingga berdasarkan perhitungan ketidakpastian diperluas tersebut menghasilkan nilai U_{expand} sebesar $\pm 1,558535$ dengan tingkat kepercayaan 95% dari tabel *T-Student*. Hasil dari perhitungan ketidakpastian tersebut akan menjadi acuan dari sensor termokopel baut tipe K yang akan digunakan. Sensor tersebut memiliki karakteristik statik diantaranya resolusi sebesar 0.01, sensitivitas 1,0137 °C dan akurasi sebesar 0,9847. Setelah dilakukan pengujian sensor *thermocouple*, kemudian sensor tersebut dipasang pada pipa *tube*

output heat exchanger dan dihubungkan dengan mikrokontroler ATmega8535 serta aktuator *solenoid valve*. Set point temperature tube adalah 45 °C. Fluida input pada tube adalah 70 °C, ketika fluida belum mencapai suhu 45 °C maka *solenoid valve* akan tetap menutup dan akan membuka ketika *set point* telah tercapai. Dari pengambilan data yang telah dilakukan, berdasarkan tabel B.4 pada lampiran B-4 data pengendalian tersebut memiliki *respon time* yang baik untuk mencapai *stedy state* dengan maksimum *overshoot* 1 °C, nilai *error steady state* sebesar 0,195122 dengan *settling time* 116 menit dan untuk efisiensi perpindahan panasnya adalah 0,156 yang dapat dikatakan perpindahan panasnya baik karena nilai yang diperoleh < 1 .

Lampiran A
Gambar A.1 P&ID Mini Plant Heat Exchanger



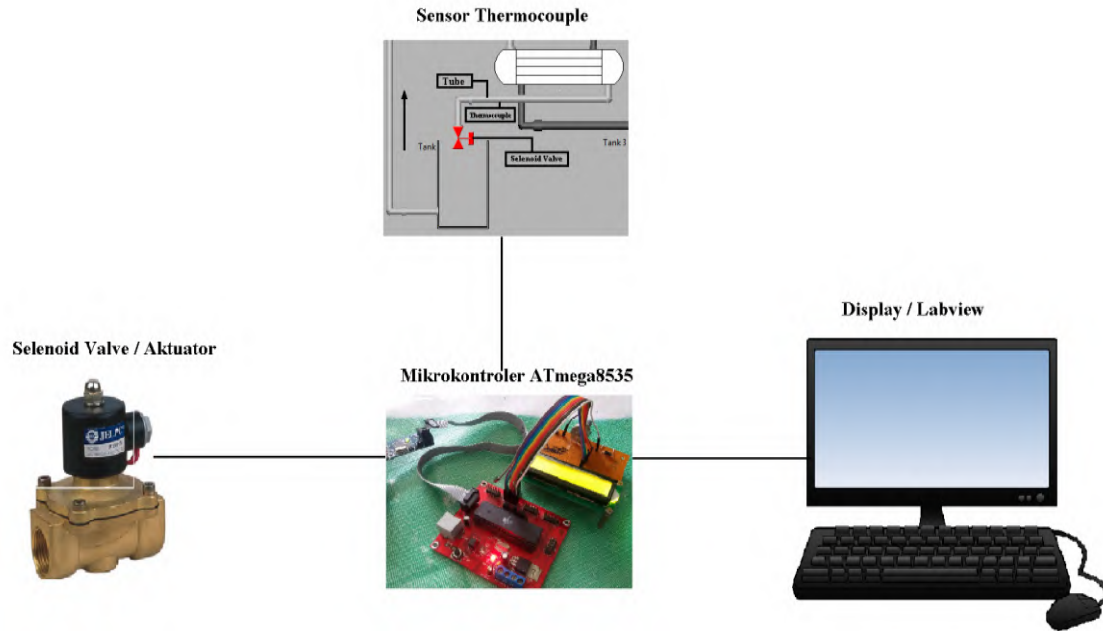
Gambar A.2 Desain *Mini Plant Heat Exchanger*



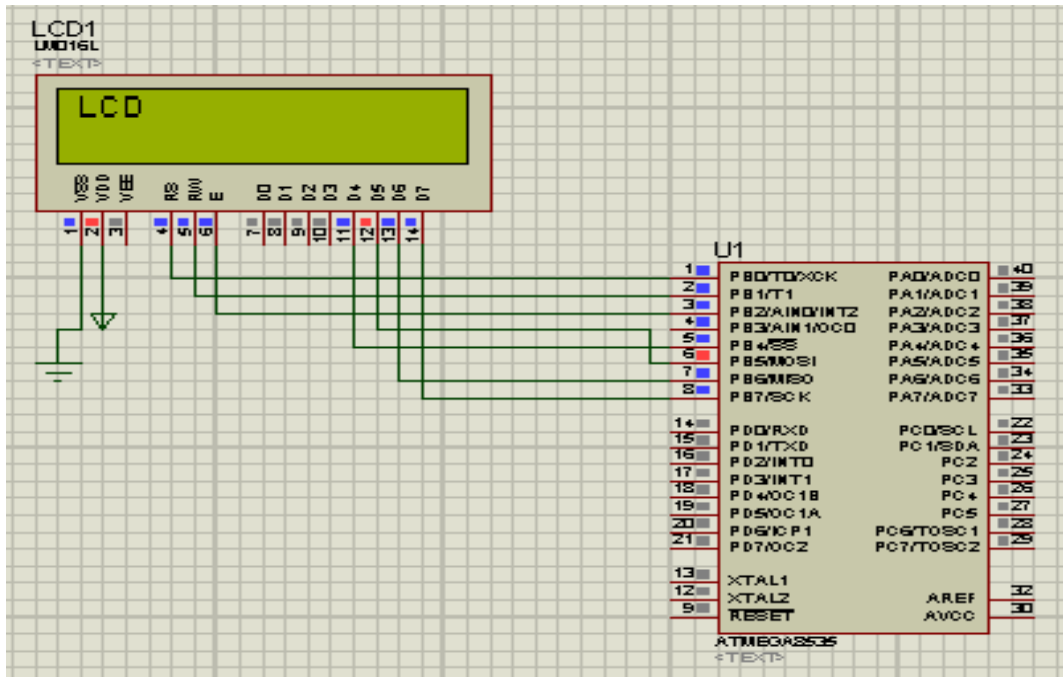
Gambar A.3 *Mini Plant Heat Exchanger*



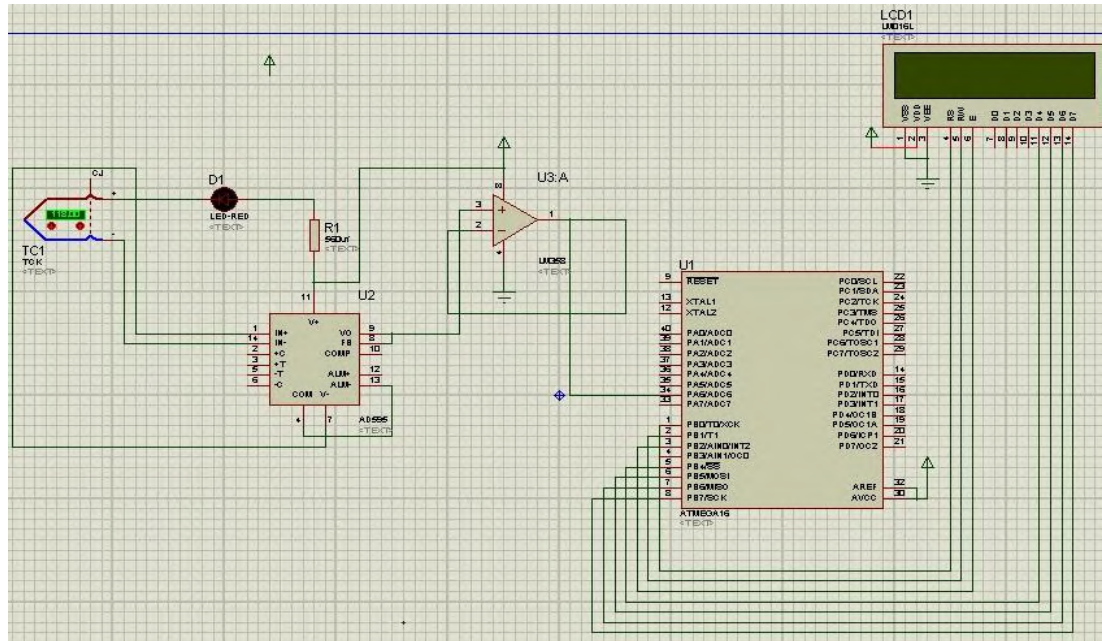
Gambar A.4 Perancangan Sistem Pengendalian Temperatur



Gambar A.5 Pemasangan LCD Mikrokontroler ATmega8535



Gambar A.6 Desain Proteus Rangkaian Pengkondisian Sinyal *Thermocouple*



LAMPIRAN B (DATA PENGUJIAN ALAT DAN KALIBRASI)

Tabel B.1 Data Pembacaan Temperatur (Naik) dan Pembacaan Standar

Banyak Data (n)	Standar	Pembacaan Sensor					Rata - rata
		1	2	3	4	5	
1	30	31,25	30,32	30,3	30,1	30,79	30,552
2	35	34,6	35,2	35,1	35,52	35,6	35,204
3	40	38,25	37,6	39,15	40,15	40,56	39,142
4	45	46,32	45,54	45,15	45,75	45,67	45,686
5	50	50,23	50,54	51,34	51,32	51,55	50,996
6	55	55,23	56,7	56,85	57,22	56,94	56,588
7	60	61,06	61,09	62,21	62,05	61,84	61,65
8	65	65,46	65,98	66,31	66,49	66,47	66,142
9	70	70,35	70,56	70,87	71,21	72,11	71,02
10	75	75,8	75,76	76,09	76,48	76,73	76,172
11	80	80,03	80,48	80,65	81,29	81,56	80,802
12	85	86,57	86,02	86,45	86,97	86,89	86,58
13	90	90,89	90,76	92,01	91,69	91,53	91,376

Tabel B.2 Data Pembacaan Temperatur (Turun) dan Pembacaan Standar

Banyak Data (n)	Standar	Pembacaan Sensor					Rata- rata
		1	2	3	4	5	
1	90	91,56	91,64	91,58	91,45	91,53	91,552
2	85	86,53	86,59	86,1	85,87	85,53	86,124
3	80	81,56	81,23	81,67	81,03	80,69	81,236
4	75	72,54	76,28	75,76	76,13	76,23	75,388
5	70	71,69	71,53	70,63	70,87	70,32	71,008
6	65	65,74	65,32	65,32	65,21	65,12	65,342
7	60	60,51	60,56	60,61	60,12	60,09	60,378
8	55	56,23	56,65	56,21	56,21	56,1	56,28
9	50	50,21	50,59	50,54	50,09	50,32	50,35
10	45	44,48	44,21	44,84	44,05	45,87	44,69
11	40	40,21	40,48	39,59	39,21	39,16	39,73
12	35	36,54	35,68	36,04	36,15	35,28	35,938
13	30	32,25	31,78	31,55	31,06	29,89	31,306

Tabel B.3 Perhitungan Hasil Uji Data Alat Ukur Standar dan Alat Uji

Banyak Data (n)	X	Y	x^2	$xi^{\wedge}yi$	Yreg	Residu ®	Square Residual
1	30	-0,552	900	-0,54705	-0,00495	-0,00495	2,45E-05
2	35	-0,204	1225	-0,60857	0,404567	0,404567	0,163674
3	40	0,858	1600	-0,67008	1,528084	1,528084	2,335042
4	45	-0,686	2025	-0,7316	0,045602	0,045602	0,00208
5	50	-0,996	2500	-0,79312	-0,20288	-0,20288	0,041161
6	55	-1,588	3025	-0,85464	-0,73336	-0,73336	0,537822
7	60	-1,65	3600	-0,91615	-0,73385	-0,73385	0,53853
8	65	-1,142	4225	-0,97767	-0,16433	-0,16433	0,027004
9	70	-1,02	4900	-1,03919	0,019189	0,019189	0,000368
0	75	-1,172	5625	-1,10071	-0,07129	-0,07129	0,005083
11	80	-0,802	6400	-1,16222	0,360223	0,360223	0,129761
12	85	-1,58	7225	-1,22374	-0,35626	-0,35626	0,126921
13	90	-1,376	8100	-1,28526	-0,09074	-0,09074	0,008234
Jumlah	780	-11,91	51350	-11,91	-2,2E-16	-2,2E-16	3,915704
Rata- rata	60	-0,91615					

Tabel B.4 Data Uji Temperatur dan Waktu

Data Ke-i	Waktu	Suhu Tube
1	13:22:16	70,01
2	13:23:16	69,89
3	13:24:16	69,01
4	13:25:17	68,83
5	13:26:17	67,39
6	13:27:17	67,05
7	13:28:18	66,26
8	13:29:18	66,69
9	13:30:18	65,5
10	13:31:18	65,03
11	13:32:18	66,03
12	13:33:18	64,78
13	13:34:19	64,1
14	13:35:19	63,55
15	13:36:19	63,12
16	13:37:19	63,11
17	13:38:19	62,38
18	13:39:19	62,63
19	13:40:19	61,5
20	13:41:20	60,61
21	13:42:20	60,12
22	13:43:20	59,63
23	13:44:20	57,67
24	14:34:21	56,7
25	14:35:21	56,7
26	14:42:54	55,23
27	14:43:54	55,23

Tabel B.4 Lanjutan

Data Ke-i	Waktu	Suhu Tube
28	14:44:54	54,25
29	14:45:54	53,76
30	14:46:54	53,76
31	14:47:55	52,79
32	14:48:55	51,81
33	14:49:56	51,32
34	14:50:56	51,32
35	14:51:57	50,83
36	14:52:58	50,34
37	14:53:58	49,36
38	14:54:59	48,88
39	15:02:03	48,39
40	15:03:03	48,39
41	15:04:04	47,9
42	15:05:05	47,41
43	15:06:05	47,41
44	15:07:06	46,92
45	15:08:06	46,92
46	15:09:07	46,43
47	15:10:07	46,8
48	15:11:07	46,21
49	15:12:08	45,41
50	15:13:08	45,38
51	15:14:25	45,57
52	15:15:26	45,13
53	15:16:26	45,24
54	15:17:27	45,1
55	15:18:28	45,04

Lampiran C (Data Sheet)



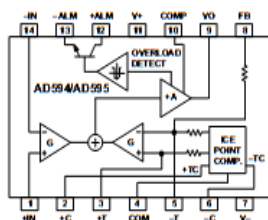
Monolithic Thermocouple Amplifiers with Cold Junction Compensation

AD594/AD595

FEATURES

Pretrimmed for Type J (AD594) or
Type K (AD595) Thermocouples
Can Be Used with Type T Thermocouple Inputs
Low Impedance Voltage Output: 10 mV/°C
Built-In Ice Point Compensation
Wide Power Supply Range: +5 V to ±15 V
Low Power: <1 mW typical
Thermocouple Failure Alarm
Laser Wafer Trimmed to 1°C Calibration Accuracy
Setpoint Mode Operation
Self-Contained Celsius Thermometer Operation
High Impedance Differential Input
Side-Braced DIP or Low Cost CerDip

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



PRODUCT DESCRIPTION

The AD594/AD595 is a complete instrumentation amplifier and thermocouple cold junction compensator on a monolithic chip. It combines an ice point reference with a precalibrated amplifier to produce a high level (10 mV/°C) output directly from a thermocouple signal. Pin-strapping options allow it to be used as a linear amplifier-compensator or as a switched output setpoint controller using either fixed or remote setpoint control. It can be used to amplify its compensation voltage directly, thereby converting it to a stand-alone Celsius transducer with a low impedance voltage output.

The AD594/AD595 includes a thermocouple failure alarm that indicates if one or both thermocouple leads become open. The alarm output has a flexible format which includes TTL drive capability.

The AD594/AD595 can be powered from a single ended supply (including +5 V) and by including a negative supply, temperatures below 0°C can be measured. To minimize self-heating, an unloaded AD594/AD595 will typically operate with a total supply current 160 µA, but is also capable of delivering in excess of ±5 mA to a load.

The AD594 is precalibrated by laser wafer trimming to match the characteristic of type J (iron-constantan) thermocouples and the AD595 is laser trimmed for type K (chromel-alumel) inputs. The temperature transducer voltages and gain control resistors

are available at the package pins so that the circuit can be recalibrated for the thermocouple types by the addition of two or three resistors. These terminals also allow more precise calibration for both thermocouple and thermometer applications.

The AD594/AD595 is available in two performance grades. The C and the A versions have calibration accuracies of ±1°C and ±3°C, respectively. Both are designed to be used from 0°C to +50°C, and are available in 14-pin, hermetically sealed, side-braced ceramic DIPs as well as low cost cerdip packages.

PRODUCT HIGHLIGHTS

1. The AD594/AD595 provides cold junction compensation, amplification, and an output buffer in a single IC package.
2. Compensation, zero, and scale factor are all precalibrated by laser wafer trimming (LWT) of each IC chip.
3. Flexible pinout provides for operation as a setpoint controller or a stand-alone temperature transducer calibrated in degrees Celsius.
4. Operation at remote application sites is facilitated by low quiescent current and a wide supply voltage range +5 V to dual supplies spanning 30 V.
5. Differential input rejects common-mode noise voltage on the thermocouple leads.

REV. C

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: <http://www.analog.com>
Fax: 781/326-8703 © Analog Devices, Inc., 1999

AD594/AD595—SPECIFICATIONS (at +25°C and $V_S = 5$ V, Type J (AD594), Type K (AD595) Thermocouple, unless otherwise noted)

Model	AD594A			AD594C			AD595A			AD595C			Units
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS													
$+V_S$ to $-V_S$		36			36			36			36		Volts
Common-Mode Input Voltage	$-V_S - 0.15$	$+V_S$		$-V_S - 0.15$	$+V_S$		$-V_S - 0.15$	$+V_S$		$-V_S - 0.15$	$+V_S$		Volts
Differential Input Voltage	$-V_S$	$+V_S$		$-V_S$	$+V_S$		$-V_S$	$+V_S$		$-V_S$	$+V_S$		Volts
Alarm Voltages													
+ALM	$-V_S$	$-V_S + 36$		$-V_S$	$-V_S + 36$		$-V_S$	$-V_S + 36$		$-V_S$	$-V_S + 36$		Volts
-ALM	$-V_S$	$+V_S$		$-V_S$	$+V_S$		$-V_S$	$+V_S$		$-V_S$	$+V_S$		Volts
Operating Temperature Range	-55		+125	-55		+125	-55		+125	-55		+125	°C
Output Short Circuit to Common	Indefinite			Indefinite			Indefinite			Indefinite			
TEMPERATURE MEASUREMENT													
Specified Temperature Range	0°C to +50°C												
Calibration Error at +25°C ¹		±3			±1			±3			±1		°C
Stability vs. Temperature ²		±0.05			±0.025			±0.05			±0.025		°C/°C
Gain Error		±1.5			±0.75			±1.5			±0.75		%
Nonideal Transfer Function		10			10			10			10		mV/°C
AMPLIFIER CHARACTERISTICS													
Closed Loop Gain ³	193.4 (Temperature in °C) × 51.70 μV/°C			193.4 (Temperature in °C) × 51.70 μV/°C			247.3 (Temperature in °C) × 40.44 μV/°C			247.3 (Temperature in °C) × 40.44 μV/°C			
Input Offset Voltage		0.1			0.1			0.1			0.1		μV
Input Bias Current													μA
Differential Input Range	-10		+50				-10		+50				mV
Common-Mode Range	$-V_S - 0.15$		$+V_S - 4$		$-V_S - 0.15$		$-V_S - 4$		$+V_S - 4$		$-V_S - 4$		Volts
Common-Mode Sensitivity - RTD		10			10			10			10		mV/V
Power Supply Sensitivity - RTD		10			10			10			10		mV/V
Output Voltage Range													
Dual Supply	$-V_S + 2.5$		$+V_S - 2$		$-V_S + 2.5$		$+V_S - 2$		$-V_S + 2.5$		$+V_S - 2$		Volts
Single Supply	0		$+V_S - 2$		0		$+V_S - 2$		0		$+V_S - 2$		Volts
Usable Output Current ⁴		±5			±5			±5			±5		mA
3 dB Bandwidth		15			15			15			15		kHz
ALARM CHARACTERISTICS													
$V_{\text{alarm}} \pm 2$ mA		0.3			0.3			0.3			0.3		Volts
Leakage Current		±1			±1			±1			±1		μA/mA
Operating Voltage at -ALM		$+V_S - 4$			$+V_S - 4$			$+V_S - 4$			$+V_S - 4$		Volts
Short Circuit Current		20			20			20			20		mA
POWER REQUIREMENTS													
Specified Performance Operating ⁵	$+V_S = 5$, $-V_S = 0$ $+V_S$ to $-V_S \leq 10$			$+V_S = 5$, $-V_S = 0$ $+V_S$ to $-V_S \leq 10$			$+V_S = 5$, $-V_S = 0$ $+V_S$ to $-V_S \leq 10$			$+V_S = 5$, $-V_S = 0$ $+V_S$ to $-V_S \leq 10$			Volts
Quiescent Current (No Load)													Volts
$+V_S$	160	300		160	300		160	300		160	300		μA
$-V_S$	100			100			100			100			μA
PACKAGE OPTION													
TD-116 (D-14)	AD594AD			AD594CD			AD595AD			AD595CD			
Geopack (Q-14)	AD594AQ			AD594CQ			AD595AQ			AD595CQ			

NOTES

¹Calibrated for minimum error at +25°C using a thermocouple sensitivity of 51.7 μV/°C. Since a J type thermocouple deviates from this straight line approximation, the AD594 will normally read 3.1 mV when the measuring junction is at 0°C. The AD595 will similarly read 2.7 mV at 0°C.

²Defined as the slope of the line connecting the AD594/AD595 errors measured at 0°C and 50°C ambient temperature.

³Typical shown in Fig. 9.

⁴Current Sink Capability: single supply configuration is limited to current drawn to ground through a 50 kΩ resistor at output voltages below 2.5 V.

⁵ V_S must not exceed -16.5 V.

Specifications shown in **Indefinite** are tested on all production units at final electrical test. Results from these tests are used to calculate outgoing quality levels. All min and max specifications are guaranteed, although only those shown in **Indefinite** are tested on all production units.

Specification subject to change without notice.

INTERPRETING AD594/AD595 OUTPUT VOLTAGES

To achieve a temperature proportional output of 10 mV/°C and accurately compensate for the reference junction over the rated operating range of the circuit, the AD594/AD595 is gain trimmed to match the transfer characteristic of J and K type thermocouples at 25°C. For a type J output in this temperature range the TC is 51.70 μV/°C, while for a type K it is 40.44 μV/°C. The resulting gain for the AD594 is 193.4 (10 mV/°C divided by 51.7 μV/°C) and for the AD595 is 247.3 (10 mV/°C divided by 40.44 μV/°C). In addition, an absolute accuracy trim induces an input offset to the output amplifier characteristic of 16 μV for the AD594 and 11 μV for the AD595. This offset arises because the AD594/AD595 is trimmed for a 250 mV output while applying a 25°C thermocouple input.

Because a thermocouple output voltage is nonlinear with respect to temperature, and the AD594/AD595 linearly amplifies the

compensated signal, the following transfer functions should be used to determine the actual output voltages:

$$AD594 \text{ output} = (\text{Type J Voltage} + 16 \mu\text{V}) \times 193.4$$

$$AD595 \text{ output} = (\text{Type K Voltage} + 11 \mu\text{V}) \times 247.3 \text{ or conversely:}$$

$$\text{Type J voltage} = (AD594 \text{ output} / 193.4) - 16 \mu\text{V}$$

$$\text{Type K voltage} = (AD595 \text{ output} / 247.3) - 11 \mu\text{V}$$

Table 1 lists the ideal AD594/AD595 output voltages as a function of Celsius temperature for type J and KANSI standard thermocouples, with the package and reference junction at 25°C. As is normally the case, these outputs are subject to calibration, gain and temperature sensitivity errors. Output values for intermediate temperatures can be interpolated, or calculated using the output equations and ANSI thermocouple voltage tables referred to zero degrees Celsius. Due to a slight variation in alloy content between ANSI type J and DIN Fe-CuNi1

LM258, LM358, LM358A, LM358E, LM2904, LM2904A, LM2904E, LM2904V, NCV2904



ON Semiconductor®

www.onsemi.com

Single Supply Dual Operational Amplifiers

Utilizing the circuit designs perfected for Quad Operational Amplifiers, these dual operational amplifiers feature low power drain, a common mode input voltage range extending to ground/ V_{EE} , and single supply or split supply operation. The LM358 series is equivalent to one-half of an LM324.

These amplifiers have several distinct advantages over standard operational amplifier types in single supply applications. They can operate at supply voltages as low as 3.0 V or as high as 32 V, with quiescent currents about one-fifth of those associated with the MC1741 (on a per amplifier basis). The common mode input range includes the negative supply, thereby eliminating the necessity for external biasing components in many applications. The output voltage range also includes the negative power supply voltage.

Features

- Short Circuit Protected Outputs
- True Differential Input Stage
- Single Supply Operation: 3.0 V to 32 V
- Low Input Bias Currents
- Internally Compensated
- Common Mode Range Extends to Negative Supply
- Single and Split Supply Operation
- ESD Clamps on the Inputs Increase Ruggedness of the Device without Affecting Operation
- NCV Prefix for Automotive and Other Applications Requiring Unique Site and Control Change Requirements; AEC-Q100 Qualified and PPAP Capable
- These Devices are Pb-Free, Halogen Free/BFR Free and are RoHS Compliant



PDP-8
N, AN, VN SUFFIX
CASE 626

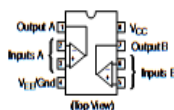


SOIC-8
D, VD SUFFIX
CASE 751



Micro8™
DM2 SUFFIX
CASE 846A

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 10 of this data sheet.

DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 11 of this data sheet.

LM258, LM358, LM358A, LM358E, LM2904, LM2904A, LM2904E, LM2904V, NCV2904

MAXIMUM RATINGS (T_A = +25°C, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltages			V _{dc}
Single Supply	V _{CC}	32	
Split Supplies	V _{CC} , V _{EE}	±16	
Input Differential Voltage Range (Note 1)	V _{DR}	±32	V _{dc}
Input Common Mode Voltage Range	V _{ICR}	-0.3 to 32	V _{dc}
Output Short Circuit Duration	I _{SC}	Continuous	
Junction Temperature	T _J	150	°C
Thermal Resistance, Junction-to-Air (Note 2)	R _{JA}	Case 846A 238 Case 751 212 Case 626 161	°C/W
Storage Temperature Range	T _{stg}	-65 to +150	°C
Operating Ambient Temperature Range	T _A	LM258 -25 to +85 LM358, LM358A, LM358E 0 to +70 LM2904, LM2904A, LM2904E -40 to +105 LM2904V, NCV2904 (Note 3) -40 to +125	°C

Stresses exceeding those listed in the Maximum Ratings table may damage the device. If any of these limits are exceeded, device functionality should not be assumed, damage may occur and reliability may be affected.

1. Split Power Supplies.
2. All R_{JA} measurements made on evaluation board with 1 oz. copper traces of minimum pad size. All device outputs were active.
3. NCV2904 is qualified for automotive use.

ESD RATINGS

Rating	HBM	MM	Unit
ESD Protection at any Pin (Human Body Model - HBM, Machine Model - MM)			
NCV2904 (Note 3)	2000	200	V
LM358E, LM2904E	2000	200	V
LM358DR2G, LM2904DR2G	250	100	V
All Other Devices	2000	200	V

LM258, LM358, LM358A, LM358E, LM2904, LM2904A, LM2904E, LM2904V, NCV2904

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $V_{EE} = \text{GND}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	LM258			LM358, LM358E			LM358A			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage $V_{CC} = 5.0\text{ V}$ to 30 V , $V_{IC} = 0\text{ V}$ to $V_{CC} - 1.7\text{ V}$, $V_O = 1.4\text{ V}$, $R_S = 0\ \Omega$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{High}}$ (Note 4) $T_A = T_{\text{Low}}$ (Note 4)	V_{IO}	-	2.0	5.0	-	2.0	7.0	-	2.0	3.0	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage $T_A = T_{\text{High}}$ to T_{Low} (Note 4)	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	-	7.0	-	-	7.0	-	-	7.0	-	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current $T_A = T_{\text{High}}$ to T_{Low} (Note 4)	I_{IO}	-	3.0	30	-	5.0	50	-	5.0	30	nA
Input Bias Current $T_A = T_{\text{High}}$ to T_{Low} (Note 4)	I_{BI}	-	-45	-150	-	-45	-250	-	-45	-100	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current $T_A = T_{\text{High}}$ to T_{Low} (Note 4)	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-	10	-	-	10	-	-	10	-	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
Input Common Mode Voltage Range (Note 5), $V_{CC} = 30\text{ V}$ $V_{CC} = 30\text{ V}$, $T_A = T_{\text{High}}$ to T_{Low}	V_{ICR}	0	-	28.3	0	-	28.3	0	-	28.5	V
Differential Input Voltage Range	V_{DIR}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V
Large Signal Open Loop Voltage Gain $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 15\text{ V}$, For Large V_O Swing, $T_A = T_{\text{High}}$ to T_{Low} (Note 4)	A_{VOL}	50	100	-	25	100	-	25	100	-	V/mV
Channel Separation 1.0 kHz $\leq f \leq 20\text{ kHz}$, Input Referenced	CS	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	dB
Common Mode Rejection $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	CMR	70	85	-	65	70	-	65	70	-	dB
Power Supply Rejection	PSR	65	100	-	65	100	-	65	100	-	dB
Output Voltage-High Limit $T_A = T_{\text{High}}$ to T_{Low} (Note 4) $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_{CC} = 30\text{ V}$, $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$ $V_{CC} = 30\text{ V}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$	V_{OH}	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	V
Output Voltage-Low Limit $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$, $T_A = T_{\text{High}}$ to T_{Low} (Note 4)	V_{OL}	-	5.0	20	-	5.0	20	-	5.0	20	mV
Output Source Current $V_{IO} = +1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$ $T_A = T_{\text{High}}$ to T_{Low} (LM358A Only)	I_{O+}	20	40	-	20	40	-	20	40	-	mA
Output Sink Current $V_{IO} = -1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$ $T_A = T_{\text{High}}$ to T_{Low} (LM358A Only) $V_{IO} = -1.0\text{ V}$, $V_O = 200\text{ mV}$	I_{O-}	10	20	-	10	20	-	10	20	-	mA
Output Short Circuit to Ground (Note 6)	I_{SC}	-	40	60	-	40	60	-	40	60	mA
Power Supply Current (Total Device) $T_A = T_{\text{High}}$ to T_{Low} (Note 4) $V_{CC} = 30\text{ V}$, $V_O = 0\text{ V}$, $R_L = \infty$ $V_{CC} = 5\text{ V}$, $V_O = 0\text{ V}$, $R_L = \infty$	I_{CC}	-	1.5	3.0	-	1.5	3.0	-	1.5	2.0	mA

4. LM258: $T_{\text{Low}} = -25^\circ\text{C}$, $T_{\text{High}} = +85^\circ\text{C}$

LM2904/AVE: $T_{\text{Low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{High}} = +105^\circ\text{C}$

5. The input common mode voltage or other input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common mode voltage range is $V_{CC} - 1.7\text{ V}$.

6. Short circuits from the output to V_{CC} can cause excessive heating and eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

Lampiran D

Listing Program Pada Mikrokontroler ATmega8535

```
Chip type           : ATmega8535
Program type        : Application
AVR Core Clock frequency: 4,000000 MHz
Memory model        : Small
External RAM size    : 0
Data Stack size     : 128
*****

/
#include <mega8535.h>
#include <stdlib.h>
#include <delay.h>
// Alphanumeric LCD functions
#include <alcd.h>

// Standard Input/Output functions
#include <stdio.h>

#define ADC_VREF_TYPE 0x00
//int x;
//unsigned char y[16];
// Read the AD conversion result
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{ ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE & 0xff);
// Delay needed for the stabilization of the ADC input voltage
delay_us(10);
// Start the AD conversion
ADCSRA|=0x40;
// Wait for the AD conversion to complete
while ((ADCSRA & 0x10)==0);
```

```
ADCSRA|=0x10;  
return ADCW;  
}
```

```
// Declare your global variables here  
float x;  
unsigned char y[16];  
unsigned int adc_sum_x, i, adc_out_x;  
void main(void)  
{  
// Declare your local variables here
```

```
// Input/Output Ports initialization  
// Port A initialization  
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In  
Func1=In Func0=In  
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T  
State1=T State0=T  
PORTA=0x00;  
DDRA=0x00;
```

```
// Port B initialization  
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In  
Func1=In Func0=In  
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T  
State1=T State0=T  
PORTB=0x00;  
DDRB=0x00;
```

```
// Port C initialization  
// Func7=Out Func6=Out Func5=Out Func4=Out Func3=Out  
Func2=Out Func1=Out Func0=Out
```

```
// State7=0 State6=0 State5=0 State4=0 State3=0 State2=0
State1=0 State0=0
PORTC=0x00;
DDRC=0xFF;
```

```
// Port D initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In
Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T
State1=T State0=T
PORTD=0x00;
DDRD=0x00;
```

```
// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 0 Stopped
// Mode: Normal top=0xFF
// OC0 output: Disconnected
TCCR0=0x00;
TCNT0=0x00;
OCR0=0x00;
```

```
// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer1 Stopped
// Mode: Normal top=0xFFFF
// OC1A output: Discon.
// OC1B output: Discon.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer1 Overflow Interrupt: Off
// Input Capture Interrupt: Off
```

```
// Compare A Match Interrupt: Off
// Compare B Match Interrupt: Off
TCCR1A=0x00;
TCCR1B=0x00;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0x00;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;
```

```
// Timer/Counter 2 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer2 Stopped
// Mode: Normal top=0xFF
// OC2 output: Disconnected
ASSR=0x00;
TCCR2=0x00;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;
```

```
// External Interrupt(s) initialization
// INT0: Off
// INT1: Off
// INT2: Off
MCUCR=0x00;
MCUCSR=0x00;
```

```
// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x00;
```

```
// USART initialization
// Communication Parameters: 8 Data, 1 Stop, No Parity
// USART Receiver: On
// USART Transmitter: On
// USART Mode: Asynchronous
// USART Baud Rate: 9600
UCSRA=0x00;
UCSRB=0x18;
UCSRC=0x86;
UBRRH=0x00;
UBRRL=0x19;

// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;

// ADC initialization
// ADC Clock frequency: 1000,000 kHz
// ADC Voltage Reference: AREF pin
// ADC High Speed Mode: Off
// ADC Auto Trigger Source: ADC Stopped
ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
ADCSRA=0x82;
SFIOR&=0xEF;

// SPI initialization
// SPI disabled
SPCR=0x00;

// TWI initialization
```

```

// TWI disabled
TWCR=0x00;

// Alphanumeric LCD initialization
// Connections are specified in the
// Project|Configure|C Compiler|Libraries|Alphanumeric LCD
menu:
// RS - PORTB Bit 0
// RD - PORTB Bit 1
// EN - PORTB Bit 2
// D4 - PORTB Bit 4
// D5 - PORTB Bit 5
// D6 - PORTB Bit 6
// D7 - PORTB Bit 7
// Characters/line: 16
lcd_init(16);

```

```

while (1)
{
    // Place your code here
    adc_sum_x = 0;
    for (i=0; i<30; i++)
    {
        delay_ms(10);
        adc_sum_x+=(read_adc(6));
    }
    adc_out_x=adc_sum_x/30;
    x=((float)adc_out_x/2.046);

    ftoa (x,1,y);
    lcd_gotoxy(8,0);
    lcd_puts (y);
}

```

```
delay_ms(3000);
```

```
lcd_gotoxy(0,0);
```

```
lcd_putsf("T. Tube=");
```

```
delay_ms(1000);
```

```
lcd_gotoxy(13,0);
```

```
lcd_putchar(0xdf);
```

```
lcd_putsf("C");
```

```
lcd_gotoxy(14,0);
```

```
puts(y);
```

```
if(x> 45)
```

```
{PORTC.4=0;
```

```
}if(x<= 45)
```

```
{PORTC.4=1;
```

```
}}}
```


BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan alat dan alat data yang telah dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- a. Telah berhasil dirancang sistem pengendalian temperatur *tube* pada *mini plant heat exchanger* tipe *shell* dan *tube*. Pada pengendalian temperatur digunakan sebuah sensor *thermocouple* tipe K dengan *range* pembacaan $0^{\circ}\text{C} - 400^{\circ}\text{C}$, rata-rata koreksi pembacaan $\pm -0,91615385^{\circ}\text{C}$ dan error $\pm 0,0153^{\circ}\text{C}$ dilengkapi dengan rangkaian penguat atau pengkondisian sinyal serta *amplifier* menggunakan ic AD595AQ dan ic LM358 dengan mikrokontroler ATmega8535 sebagai kontroler, *solenoid valve* sebagai aktuator keluaran fluida pada *tube* dengan *set point* pengendalian temperatur 45°C .
- b. Berdasarkan respon grafik sistem pengendalian temperature *tube mini plant heat exchanger*, didapatkan *respon time* yang baik untuk mencapai *stedy state* dengan maksimum *overshoot* 1°C dan nilai *error steady state* sebesar 0,195122. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *set point* (*settling time*) dari awal pengambilan data adalah ± 116 menit.
- c. Berdasarkan perhitungan efisiensi perpindahan panas pada *mini plant heat exchanger*, diperoleh nilai η (efisiensi) perpindahan panas sebesar 0,156 yang dapat dikatakan perpindahan panasnya baik karena nilai yang diperoleh < 1 .

5.2 Saran

Berdasarkan perancangan alat dan alat data yang telah dilakukan didapatkan beberapa Saran sebagai berikut :

- a. Untuk penggunaan sensor dengan jarak yang jauh bisa mengurangi arus yang mengalir dan mengakibatkan error pembacaan yang sangat tinggi dapat dilakukan *grounding* dengan menyalurkan bagian-bagian tersebut pada tanah.
- b. Sebaiknya dalam sistem ini ditambahkan *Safety Instrument System* (SIS) agar alat dapat berjalan lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gunterus.F, “*Falsafah Dasar Sistem Pengendalian Proses*”, Elex Media Komputindo, Jakarta, 1994
- [2] Wicaksono, Amri akbar, “*Perancangan Sisten Pengendalian Pembakaran pada Duct Burner Waste Heat Boiler Berbasis Logic Solver*”, Teknik Fisika-FTI-ITS, Surabaya,
- [3] Black & Veatch Internasional consulting Engineers, Kansas City, Missouri.USA 1979, “Intruccion Book For Feed Water Heaters and Heat Exchangers”, P.122.M.00 (07) Mit.1.2.
- [4] Frank Keith, terjemahan Arko Prijono, “Prinsip-prinsip Perpindahan Panas”, Erlangga, Jakarta,1994.3.
- [5] Max Jacob & George A. Hawkins, Purdue Univerity, ”Elements Of Heat Transfer”, Jhon
- [6] Chandra, 2010, Rangkaian Sensor Suhu thermocouple,[http://telinks.wordpress.com/2010/04/09/rangkaian-sensor suhu-thermocouple](http://telinks.wordpress.com/2010/04/09/rangkaian-sensor-suhu-thermocouple),13 Maret 2013, 15.05 WIB.
- [7] Analog Devices. AD595 dan LM358. [Online] . www.alldatasheet.com
- [8] Anonim. Prinsip Kerja Solenoid Valve Pneumatic. (online) diakses 22 Mei 2014 pukul 21:06
- [9] Tool ey, Mike.2002 . Rangkaian Elektronika Prinsip dan Aplikasi. Jakarta : Erlangga
- [10] Winoto, Ardi, “*Mikrokontroler AVR AT Mega 8/32/16/8535 dan Pemrograman dengan Bahasa C pada WinAVR*”, Bandung : Informatika
- [11] Anonim, 2011, Pengetahuan Dasar Pemrograman Display LCD 2X16, pengetahuan-dasar-pemrograman-display-lcd-2x16,13 Maret 2013, 14.30 WIB.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kediri pada tanggal 20 Desember 1994. Merupakan anak terakhir 2 dari 2 bersaudara. Penulis telah menyelesaikan studi di SMA Negeri 2 Pare, dan kemudian melanjutkan kuliah di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Jurusan Teknik Fisika, Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi pada tahun 2013. Bidang minat yang ditekuni yaitu Instrumentasi. Pengalaman magang (*on job training* / kerja praktek) di Di PT. Pertamina RU-VI Balongan, Indramayu, Jawa dengan judul : Keterampilan Kalibrasi Meter Prover Lpg *Loading Metering* (42-A-500) Menggunakan Metode *Water Draw* Di PT. Pertamina (Persero) RU VI Balongan Indramayu – Jawa Barat, Software yang ditekuni dalam bidang minat yaitu: PLC & DCS, Autocad, LogicPro *Simulate*, Zelio soft, Logo soft. Aktif dalam kepanitiaan dan juga organisasi intern.

Motto hidup: Menjadi orang yang bermanfaat bagi sesama.

Email : deasy.rahmawaty13@mhs.ep.its.ac.id

No.HP : 081321981298